

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 6月25日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-184043

[ST.10/C]:

[JP2002-184043]

出 願 人

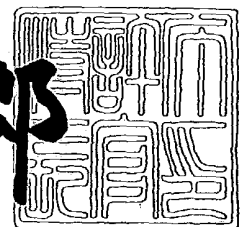
Applicant(s):

アルプス電気株式会社

2003年 3月24日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3019513

【書類名】 特許願

【整理番号】 011270AL

【提出日】 平成14年 6月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 43/08  
G11B 5/39

【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法

【請求項の数】 20

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社  
社内

    【氏名】 長谷川 直也

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社  
社内

    【氏名】 梅津 英治

【特許出願人】

    【識別番号】 000010098

    【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社

    【代表者】 片岡 政隆

【代理人】

    【識別番号】 100085453

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 野▲崎▼ 照夫

【選任した代理人】

    【識別番号】 100121049

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 三輪 正義

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 041070

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気検出素子及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 下部電極層上に下から第 1 反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及び第 1 フリー磁性層の順に積層された多層膜を有し、

前記多層膜のトラック幅方向の両側端面には第 1 絶縁層が設けられ、

前記第 1 絶縁層上から前記第 1 フリー磁性層上にかけて第 2 フリー磁性層が設けられ、

前記第 2 フリー磁性層の前記第 1 絶縁層と膜厚方向で対向する素子両側端部上には第 2 反強磁性層が設けられ、

上部電極層が前記第 2 反強磁性層の上側から前記第 2 反強磁性層のトラック幅方向の間隔内に位置する前記第 2 フリー磁性層の上側にかけて形成されていることを特徴とする磁気検出素子。

【請求項 2】 前記第 2 反強磁性層上が第 2 絶縁層で覆われ、前記上部電極層が前記第 2 絶縁層上から前記第 2 絶縁層のトラック幅方向の間隔内に位置する前記第 2 フリー磁性層の上側にかけて形成されている請求項 1 記載の磁気検出素子。

【請求項 3】 前記第 1 フリー磁性層と第 2 フリー磁性層間には非磁性層が介在している請求項 1 または 2 に記載の磁気検出素子。

【請求項 4】 前記第 2 フリー磁性層と前記第 2 反強磁性層間には強磁性層が介在する請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 5】 前記第 2 反強磁性層のトラック幅方向の間隔内から前記第 2 フリー磁性層の上面が露出し、前記露出した上面に非磁性層が形成されている請求項 4 記載の磁気検出素子。

【請求項 6】 前記第 2 フリー磁性層上には第 3 反強磁性層が設けられ、前記第 3 反強磁性層の素子両側端部上に前記第 2 反強磁性層が形成される請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 7】 前記第 2 反強磁性層のトラック幅方向の間隔内から前記第 3 反強磁性層の上面が露出し、前記露出した上面に非磁性層が形成されている請求

項 6 記載の磁気検出素子。

【請求項 8】 前記非磁性層は、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cu、Cr のいずれか 1 種または 2 種以上で形成される請求項 3、5 または 7 に記載の磁気検出素子。

【請求項 9】 前記下部電極層は下部シールド層であり、上部電極層は上部シールド層である請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の磁気検出素子。

【請求項 10】 以下の工程を有することを特徴とする磁気検出素子の製造方法。

(a) 下部電極層上に、下から第 1 反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及び第 1 フリー磁性層の順に積層された多層膜を形成する工程と、

(b) 前記多層膜のトラック幅方向の両側端面を削り、前記両側端面にトラック幅方向に第 1 絶縁層を設ける工程と、

(c) 前記第 1 絶縁層上から前記第 1 フリー磁性層上にかけて第 2 フリー磁性層を設ける工程と、

(d) 前記第 2 フリー磁性層の前記第 1 絶縁層と膜厚方向で対向する素子両側端部に第 2 反強磁性層を設ける工程と、

(e) 前記第 2 反強磁性層上から前記第 2 反強磁性層のトラック幅方向の間隔内に位置する前記第 2 フリー磁性層の上側にかけて上部電極層を形成する工程。

【請求項 11】 前記 (d) 工程と前記 (e) 工程の間に、前記第 2 反強磁性層上を第 2 絶縁層で覆う工程を有し、前記 (e) 工程で、前記第 2 絶縁層上から前記第 2 反強磁性層のトラック幅方向の間隔内に位置する前記第 2 フリー磁性層の上側にかけて上部電極層を形成する請求項 10 記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 12】 前記 (a) 工程で、前記多層膜の最上層に非磁性層を形成し、前記 (c) 工程で前記第 2 フリー磁性層を形成する前に、前記非磁性層を一部、あるいは全部除去する請求項 10 または 11 に記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項 13】 前記 (c) 工程で、前記第 2 フリー磁性層の上側に非磁性層を形成し、次に前記第 1 絶縁層と膜厚方向で対向する位置の前記非磁性層を削

った後、前記第2フリー磁性層の素子両側端部上に強磁性層を形成し、前記(d)工程で、前記強磁性層上に前記第2反強磁性層を形成する請求項10ないし12のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項14】 前記(c)工程後、前記第2フリー磁性層上に第3反強磁性層を形成し、前記第3反強磁性層の上に非磁性層を形成した後、前記第1絶縁層と膜厚方向で対向する位置の前記非磁性層を削り、次に前記(d)工程で、前記第3反強磁性層の素子両側端部上に第2反強磁性層を設ける請求項10ないし12のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項15】 前記第3反強磁性層を20 Å以上で50 Å以下の膜厚で形成する請求項14記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項16】 前記非磁性層を、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cu、Crのいずれか1種または2種以上で形成する請求項12ないし15のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項17】 前記非磁性層を成膜当初、3 Å以上で20 Å以下で形成する請求項16記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項18】 前記(d)工程に代えて以下の工程を有する請求項10ないし12のいずれかに記載の磁気検出素子の製造方法。

(f) 前記第2フリー磁性層上に第2反強磁性層及び第2絶縁層を形成する工程と、

(g) 前記第2絶縁層の前記第1絶縁層と膜厚方向で対向する素子両側端部上にマスク層を形成し、前記マスク層に覆われていない前記第2絶縁層及び前記第2反強磁性層の素子中央部を削り、これにより前記第2絶縁層のトラック幅方向の間隔内から前記第2フリー磁性層の上面を露出させる工程。

【請求項19】 前記(g)工程で、前記第2反強磁性層の素子中央部を途中で削り、前記(e)工程で、前記上部電極層を前記第2絶縁層上から前記第2絶縁層のトラック幅方向の間隔内から露出する前記第2反強磁性層上にかけて形成する請求項18記載の磁気検出素子の製造方法。

【請求項20】 前記素子中央部に残す第2反強磁性層の膜厚を50 Å以下とする請求項19記載の磁気検出素子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は主に、センス電流が多層膜の各層を膜厚方向に流れるCPP (Current Perpendicular to the Plane) 型の磁気検出素子に係り、特に前記多層膜内でのセンス電流のトラック幅方向への広がりを抑え、再生出力の向上を図ることが可能な磁気検出素子及びその製造方法に関する。

## 【0002】

## 【従来の技術】

図14は、従来の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

## 【0003】

符号13はNiFe合金等で形成された下部電極層であり、前記下部電極層13の上に第1反強磁性層3、固定磁性層4、非磁性材料層5及びフリー磁性層6がこの順で積層形成されている。前記第1反強磁性層3からフリー磁性層6までの積層体を多層膜11と呼ぶ。

## 【0004】

前記フリー磁性層6の素子両側端部6a上には、第2反強磁性層7が形成され、前記第2反強磁性層7の上には絶縁層12が形成されている。

## 【0005】

また前記絶縁層12上から前記第2反強磁性層7のトラック幅方向（図示X方向）の間隔内から露出するフリー磁性層6の素子中央部6b上に上部電極層14が形成されている。

## 【0006】

図14に示す磁気検出素子では、前記第2反強磁性層7の下面間のトラック幅方向における間隔でトラック幅Twが規制される。

## 【0007】

図14では、前記第2反強磁性層7と重ねて形成されたフリー磁性層6の素子

両側端部 6 a 間で交換結合磁界が発生し、前記フリー磁性層 6 の素子両側端部 6 a が図示 X 方向に磁化固定されると、前記フリー磁性層 6 の素子中央部 6 b は磁性層内の交換相互作用により媒介されたバイアス磁界によって図示 X 方向に揃えられ、前記素子中央部 6 b は外部磁界に対し磁化反転するようになっている。このように反強磁性層 7 を用いて前記フリー磁性層 6 の磁化制御をする方法をエキスチェンジバイアス方式と呼んでいる。

## 【0008】

図 14 に示す従来例の磁気検出素子は、前記多層膜 11 の膜厚方向（図示 Z 方向）の上下に電極 13、14 が形成され、センス電流が前記多層膜 11 の各層を膜厚方向に流れる CPP (Current Perpendicular to the Plane) 型と呼ばれる構造である。

## 【0009】

図 14 に示す磁気検出素子では、前記第 2 反強磁性層 7 上を絶縁層 12 が覆っており、この絶縁層 12 の形成によって前記上部電極層 14 から前記多層膜 11 に流れるセンス電流が前記第 2 反強磁性層 7 に分流するのを抑制することが可能になっている。

## 【0010】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら図 14 に示す磁気検出素子では次のような問題があった。それは前記多層膜 11 内に流れるセンス電流がトラック幅  $T_w$  よりも広がって流れ、この結果、実際に磁気抵抗効果に寄与する実効再生トラック幅が広がり、サイドリーディングの発生や、再生出力の低下を招いたのである。図 14 ではセンス電流の広がりを矢印で示している。

## 【0011】

図 14 に示す磁気検出素子では、多層膜 11 のトラック幅方向への幅寸法がトラック幅  $T_w$  よりも長く形成され、さらに前記下部電極層 13 と第 1 反強磁性層 3 との素子両側端部間に絶縁層が形成されていない。このためセンス電流は特に前記多層膜 11 の下方でトラック幅方向に広がって流れるものと考えられた。

## 【0012】

そこで図 1 5 に示す別の従来の磁気検出素子（前記磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図）では、前記下部電極層 1 3 の素子両側端部 1 3 b に凹部 1 3 a が形成され、この凹部 1 3 a 内に絶縁層 2 が形成され、前記絶縁層 2 上から前記下部電極層 1 3 の素子中央部 1 3 c 上にかけて第 1 反強磁性層 3 が形成されている。また図 1 4 と同様に前記第 2 反強磁性層 7 上には絶縁層 1 2 が形成されている。

## 【 0 0 1 3 】

図 1 5 のように反強磁性層 3、7 と電極層 1 3、1 4 間はその素子両側端部で絶縁されており、図 1 4 に示す磁気検出素子の構造に比べて、センス電流の前記多層膜 1 1 内でのトラック幅方向への広がりを抑制できるものと考えられた。

## 【 0 0 1 4 】

しかし図 1 5 に示す磁気検出素子の構造でも、依然として多層膜 1 1 内でのセンス電流の広がり（センス電流の流れは矢印方向で示されている）を効果的に抑制はできず、再生出力の適切な向上を図ることができなかったのである。

## 【 0 0 1 5 】

それは図 1 5 に示す構造では、反強磁性層 3、7 と電極層 1 3、1 4 間が絶縁層 2、1 2 によって絶縁されているものの、前記多層膜 1 1 はトラック幅  $T_w$  よりもトラック幅方向（図示 X 方向）に長く形成されているため、特にトラック幅  $T_w$  の両端付近に流れるセンス電流が、多層膜の膜厚が平均自由行程よりも厚い場合には、伝導電子の移動方向は Z 方向とは限らず角度分布を持つことになる。これにより電流が広がってしまう。また層界面での散乱（スペキュラー散乱も含む）も、電流が広がる要因となる。

## 【 0 0 1 6 】

このように電流がその多層膜 1 1 内でトラック幅  $T_w$  よりも広がって流れやすく、これによって図 1 5 に示す形態でもより効果的に、実効再生トラック幅の広がりを抑え、サイドリーディングの発生を抑制し、再生出力の向上を図ることができなかったのである。

## 【 0 0 1 7 】

このようにエキスチェンジバイアス方式において、従来の図 1 4 及び図 1 5 に

示す磁気検出素子の構造では適切にセンス電流の多層膜11内のトラック幅方向への広がり抑制できず再生出力等が低下し、特に今後の高記録密度化に対応すべく狭トラック化が進むと、上記問題はさらに顕著化した。

【0018】

そこで本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、フリー磁性層をエキスチェンジバイアス方式によって磁化制御し、且つC P P型の構造において、前記フリー磁性層の磁化制御を適切に保ちつつ、従来よりセンス電流の前記多層膜内でのトラック幅方向への広がり抑制でき、効果的にサイドリーディングの発生を抑制し、さらに再生出力の向上を図ることが可能な磁気検出素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】

本発明の磁気検出素子は、下部電極層上に下から第1反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及び第1フリー磁性層の順に積層された多層膜を有し、

前記多層膜のトラック幅方向の両側端面には第1絶縁層が設けられ、

前記第1絶縁層上から前記第1フリー磁性層上にかけて第2フリー磁性層が設けられ、

前記第2フリー磁性層の前記第1絶縁層と膜厚方向で対向する素子両側端部上には第2反強磁性層が設けられ、

上部電極層が前記第2反強磁性層の上側から前記第2反強磁性層のトラック幅方向の間隔内に位置する前記第2フリー磁性層の上側にかけて形成されていることを特徴とするものである。

【0020】

本発明では、多層膜のトラック幅方向の両側に第1絶縁層を設け、前記多層膜上から前記第1絶縁層上にかけて第2フリー磁性層を設け、さらに前記第2フリー磁性層の素子両側端部上に第2反強磁性層を設けた点に特徴がある。

【0021】

前記第2フリー磁性層の素子両側端部は、前記第2反強磁性層との間で発生する交換結合磁界によって磁化がトラック幅方向に固定される。一方、前記第2フ

リー磁性層の素子中央部では、前記交換結合磁界が働かず、磁性層内の交換相互作用により媒介されたバイアス磁界によってトラック幅方向に弱く単磁区化された状態であり、第1フリー磁性層とともに、外部磁界に対し感度良く磁化反転するようになっている。本発明ではこのように第1フリー磁性層、第2フリー磁性層、および第2反強磁性層の組合わせにより、適切にフリー磁性層の磁化制御を行うことが可能になっている。

## 【 0 0 2 2 】

そして本発明では、上記のフリー磁性層の磁化制御を適切に保ちつつ、前記多層膜内に流れるセンス電流のトラック幅方向への広がりを従来に比べて効果的に抑制することが可能である。

## 【 0 0 2 3 】

それは従来、前記多層膜が前記第2反強磁性層の下にまで延びて形成されていたのを、本発明では前記多層膜のトラック幅方向への幅寸法を従来よりも縮め、前記第2反強磁性層下に前記第2フリー磁性層を介して第1絶縁層を設けているからである。

## 【 0 0 2 4 】

このためセンス電流は、前記第1絶縁層の存在で、従来より前記多層膜内をトラック幅 $T_w$ よりもトラック幅方向に広がって流れにくくなり、前記フリー磁性層の磁化制御を適切に保ちつつ、効果的に実効再生トラック幅の広がりを抑え、サイドリーディングの発生を抑制し、再生出力の向上を図ることが可能になったのである。また前記第1絶縁層を前記多層膜の両側端面における伝導電子の鏡面反射層（スペキュラー層）として機能させることも可能であり、これにより多層膜の両側端面付近におけるCPP-GMR特性の劣化を防止でき、特にトラック幅 $T_w$ が $0.06\mu m$ 以下となったときも再生出力の劣化防止に有効である。

## 【 0 0 2 5 】

また本発明では前記第2反強磁性層上が第2絶縁層で覆われ、前記上部電極層が前記第2絶縁層上から前記第2絶縁層のトラック幅方向の間隔内に位置する前記第2フリー磁性層の上側にかけて形成されていることが好ましい。これによって前記センス電流の前記第2反強磁性層への分流を抑制でき、再生出力の更なる

向上を図ることができる。

【 0 0 2 6 】

また本発明では、前記第 1 フリー磁性層と第 2 フリー磁性層間には非磁性層が介在していてもよい。

【 0 0 2 7 】

また本発明では、前記第 2 フリー磁性層と前記第 2 反強磁性層間には強磁性層が介在することが好ましい。これにより前記第 2 フリー磁性層の磁化制御をより適切に行うことが可能である。すなわち前記第 2 反強磁性層と強磁性層間に適切な大きさの交換結合磁界が生じて前記強磁性層がトラック幅方向に磁化固定されると、前記強磁性層と対向する前記第 2 フリー磁性層の素子両側端部が前記強磁性層との交換相互作用によりトラック幅方向に適切に磁化固定される。

【 0 0 2 8 】

また本発明では、前記第 2 反強磁性層のトラック幅方向の間隔内から前記第 2 フリー磁性層の上面が露出し、前記露出した上面に非磁性層が形成されていることが好ましい。前記非磁性層は製造工程中に前記第 2 フリー磁性層を酸化から防止するための酸化防止層としての役割を有している。

【 0 0 2 9 】

また本発明では、前記第 2 フリー磁性層上には第 3 反強磁性層が設けられ、前記第 3 反強磁性層の素子両側端部上に前記第 2 反強磁性層が形成されていてもよい。

【 0 0 3 0 】

前記第 3 反強磁性層は単独では反強磁性を帯びないほど薄い膜厚で形成されているが、前記第 3 反強磁性層の素子両側端部では第 2 反強磁性層が重ねて形成されることで、前記素子両側端部で適切に反強磁性を帯びた反強磁性層が形成され、前記第 2 フリー磁性層の素子両側端部との間で適切な大きさの交換結合磁界が生じ、前記第 2 フリー磁性層の素子両側端部をより適切にトラック幅方向に磁化固定することができる。

【 0 0 3 1 】

上記において、前記第 2 反強磁性層のトラック幅方向の間隔内から前記第 3 反

強磁性層の上面が露出し、前記露出した上面に非磁性層が形成されていることが好ましい。前記非磁性層は製造工程中に前記第 3 反強磁性層を酸化から防止するための酸化防止層としての役割を有している。

## 【 0 0 3 2 】

なお本発明では、前記非磁性層は、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cu、Crのいずれか 1 種または 2 種以上で形成されることが好ましい。

## 【 0 0 3 3 】

また本発明では、前記下部電極層は下部シールド層であり、上部電極層は上部シールド層であることが好ましい。これによりシールド層間の間隔で決定されるギャップ長を短くでき高記録密度化に適切に対応可能な磁気検出素子を製造することが可能になっている。

## 【 0 0 3 4 】

また本発明における磁気検出素子の製造方法は、以下の工程を有することを特徴とするものである。

(a) 下部電極層上に、下から第 1 反強磁性層、固定磁性層、非磁性材料層及び第 1 フリー磁性層の順に積層された多層膜を形成する工程と、

(b) 前記多層膜のトラック幅方向の両側端面を削り、前記両側端面にトラック幅方向に第 1 絶縁層を設ける工程と、

(c) 前記第 1 絶縁層上から前記第 1 フリー磁性層上にかけて第 2 フリー磁性層を設ける工程と、

(d) 前記第 2 フリー磁性層の前記第 1 絶縁層と膜厚方向で対向する素子両側端部に第 2 反強磁性層を設ける工程と、

(e) 前記第 2 反強磁性層上から前記第 2 反強磁性層のトラック幅方向の間隔内に位置する前記第 2 フリー磁性層の上側に上部電極層を形成する工程。

## 【 0 0 3 5 】

本発明では上記の製造方法を用いることで、多層膜のトラック幅方向の両側に第 1 絶縁層を設けることができ、また前記第 1 絶縁層上から前記第 1 フリー磁性層上にかけて第 2 フリー磁性層を設けることができ、フリー磁性層の磁化制御を

適切に行うことができるとともに、センス電流が前記多層膜内を流れる際にトラック幅 $T_w$ より広がって流れるのを適切に抑制でき、従来に比べて再生出力の大きい磁気検出素子を容易に且つ適切に製造することが可能である。

## 【 0 0 3 6 】

また本発明では、前記（d）工程と前記（e）工程の間に、前記第2反強磁性層上を第2絶縁層で覆う工程を有し、前記（e）工程で、前記第2絶縁層上から前記第2反強磁性層のトラック幅方向の間隔内に位置する前記第2フリー磁性層の上側にかけて上部電極層を形成することが好ましい。前記第2絶縁層を設けることで、センス電流が前記第2反強磁性層へ分流するのを適切に防止でき、より効果的に再生出力の大きい磁気検出素子を製造することが可能である。

## 【 0 0 3 7 】

また本発明では、前記（a）工程で、前記多層膜の最上層に非磁性層を形成し、前記（c）工程で前記第2フリー磁性層を形成する前に、前記非磁性層を一部、あるいは全部除去することが好ましい。前記非磁性層はその下の層を酸化から保護するための酸化防止層である。

## 【 0 0 3 8 】

また本発明では、前記（c）工程で、前記第2フリー磁性層の上側に非磁性層を形成し、次に前記第1絶縁層と膜厚方向で対向する位置の前記非磁性層を削った後、前記第2フリー磁性層の素子両側端部上に強磁性層を形成し、前記（d）工程で、前記強磁性層上に前記第2反強磁性層を形成することが好ましい。前記非磁性層は製造工程中に前記第2フリー磁性層を酸化から防止するための酸化防止層である。また前記強磁性層と第2反強磁性層とを連続成膜できることで、前記強磁性層と第2反強磁性層間に所定の大きさの交換結合磁界を生じさせることができ、前記第2フリー磁性層の磁化制御をより適切に行うことができる。

## 【 0 0 3 9 】

また本発明では、前記（c）工程後、前記第2フリー磁性層上に第3反強磁性層を形成し、前記第3反強磁性層の上に非磁性層を形成した後、前記第1絶縁層と膜厚方向で対向する位置の前記非磁性層を削り、次に前記（d）工程で、前記第3反強磁性層の素子両側端部上に第2反強磁性層を設けることが好ましい。前

記非磁性層は製造工程中に前記第 3 反強磁性層を酸化から防止するための酸化防止層である。

#### 【0040】

また本発明では、前記第 3 反強磁性層を 20 Å 以上で 50 Å 以下の膜厚で形成することが好ましく、この程度の薄い膜厚で前記第 3 反強磁性層を形成することにより前記第 3 反強磁性層単独では反強磁性を帯びないが、前記第 2 反強磁性層と重ねられた前記第 3 反強磁性層の素子両側端部では反強磁性を帯び、前記第 2 フリー磁性層の素子両側端部との間で適切な大きさの交換結合磁界を生じ、前記第 2 フリー磁性層の磁化制御をより効果的に行うことが可能である。

#### 【0041】

なお本発明では、前記非磁性層を、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cu、Cr のいずれか 1 種または 2 種以上で形成することが好ましく、また前記非磁性層を成膜当初、3 Å 以上で 20 Å 以下で形成することが好ましい。前記非磁性層を Ru など形成すると膜厚が薄くても適切に酸化防止層として機能し、しかも前記非磁性層の膜厚は薄いため前記非磁性層を削る工程において低エネルギーのイオンミリングを使用でき、前記非磁性層下の層に前記ミリングの影響が及ばないようにすることができる。

#### 【0042】

また本発明では、前記 (d) 工程に代えて以下の工程を有する製造方法であってもよい。

(f) 前記第 2 フリー磁性層上に第 2 反強磁性層及び第 2 絶縁層を形成する工程と、

(g) 前記第 2 絶縁層の前記第 1 絶縁層と膜厚方向で対向する素子両側端部上にマスク層を形成し、前記マスク層に覆われていない前記第 2 絶縁層及び前記第 2 反強磁性層の素子中央部を削り、これにより前記第 2 絶縁層のトラック幅方向の間隔内から前記第 2 フリー磁性層の上面を露出させる工程。

#### 【0043】

上記の (f) 及び (g) 工程を有する製造方法を用いると、最も簡単に所望の形態の磁気検出素子を製造することができる。

## 【 0 0 4 4 】

また本発明では、前記（g）工程で、前記第2反強磁性層の素子中央部を途中まで削り、前記（e）工程で、前記上部電極層を前記第2絶縁層上から前記第2絶縁層のトラック幅方向の間隔内から露出する前記第2反強磁性層上にかけて形成してもよい。かかる場合、前記素子中央部に残す第2反強磁性層の膜厚を50 Å以下とすることが好ましい。これにより残された前記第2反強磁性層の素子中央部は反強磁性を帯びなくなり、前記第2フリー磁性層の素子中央部が外部磁界に対し適切に磁化反転できるようにフリー磁性層の磁化制御を行うことが可能になる。

## 【 0 0 4 5 】

## 【発明の実施の形態】

図1は本発明における第1実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。図1に示される磁気検出素子は、記録媒体に記録された記録信号を再生するためのMRヘッドである。なおこのMRヘッド上に記録用のインダクティブヘッドが積層されていてもよい。記録媒体との対向面は、例えば磁気検出素子を構成する薄膜の膜面に垂直で且つ磁気検出素子のフリー磁性層の外部磁界（記録信号磁界）が印加されていないときの磁化方向と平行な平面である。図1では、記録媒体との対向面はX-Z平面に平行な平面である。

## 【 0 0 4 6 】

なお、磁気検出素子が浮上式の磁気ヘッドに用いられる場合、記録媒体との対向面とは、いわゆるABS面（Air Bearing Surface）のことである。

## 【 0 0 4 7 】

また磁気検出素子は、例えばアルミナ-チタンカーバイト（ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ ）で形成されたスライダのトレーリング端面上に形成される。スライダは、記録媒体との対向面と逆面側で、ステンレス材などによる弾性変形可能な支持部材と接合され、磁気ヘッド装置が構成される。

## 【 0 0 4 8 】

なお、トラック幅方向とは、外部磁界によって磁化方向が変動する領域の幅方

向のことであり、例えば、フリー磁性層の外部磁界が印加されていないときの磁化方向、すなわち図示X方向である。トラック幅方向のフリー磁性層の幅寸法が磁気検出素子のトラック幅Twを規定する。

## 【0049】

なお、記録媒体は磁気検出素子の記録媒体との対向面に対向しており、図示Z方向に移動する。この記録媒体からの洩れ磁界方向は図示Y方向である。

## 【0050】

図1に示す符号20は下部シールド層であり、前記下部シールド層20の上に多層膜30が形成されている。前記下部シールド層20はNiFe合金などの磁性材料で形成される。

## 【0051】

図1に示すように、前記多層膜30は下からシードレイヤ22、第1反強磁性層23、固定磁性層24、非磁性材料層25及び第1フリー磁性層26がこの順で積層形成される。

## 【0052】

前記シードレイヤ22は、NiFe合金、NiFeCr合金あるいはCrなどで形成される。シードレイヤ22は、例えば $(\text{Ni}_{0.8}\text{Fe}_{0.2})_{60\text{at}\%}\text{Cr}_{40\text{at}\%}$ の膜厚60Åで形成される。

## 【0053】

前記第1反強磁性層23は、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である）合金で形成される。

## 【0054】

第1反強磁性層23として、これらの合金を使用し、これを熱処理することにより、大きな交換結合磁界を発生する第1反強磁性層23及び固定磁性層24の交換結合膜を得ることができる。特に、PtMn合金であれば、48kA/m以上、例えば64kA/mを越える交換結合磁界を有し、交換結合磁界を失うプロ

ッキング温度が380℃と極めて高い優れた第1反強磁性層23及び固定磁性層24の交換結合膜を得ることができる。

## 【0055】

これらの合金は、成膜直後の状態では、不規則系の面心立方構造(fcc)であるが、熱処理によってCuAuI型の規則型の面心正方構造(fct)に構造変態する。第1反強磁性層23の膜厚は、80～300Åである。

## 【0056】

図1に示す固定磁性層24は人工フェリ構造である。前記固定磁性層24は磁性層31、33とその間に介在する非磁性中間層32の3層構造である。

## 【0057】

前記磁性層31、33は、例えばNiFe合金、Co、CoNiFe合金、CoFe合金、CoNi合金などの磁性材料で形成される。磁性層31と磁性層33は、同一の材料で形成されることが好ましい。

## 【0058】

また、非磁性中間層32は、非磁性材料により形成されるもので、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種またはこれらの2種以上の合金で形成されている。特にRuによって形成されることが好ましい。

## 【0059】

前記磁性層31、33は、それぞれ10～70Å程度で形成される。また非磁性中間層32の膜厚は3Å～10Å程度で形成される。

## 【0060】

なお固定磁性層24は上記したいずれかの磁性材料を使用した1層構造あるいは上記したいずれかの磁性材料からなる層とCo層などの拡散防止層の2層構造で形成されていても良い。

## 【0061】

前記非磁性材料層25は、固定磁性層24と第1フリー磁性層26との磁気的な結合を防止し、またセンス電流が主に流れる層であり、Cu、Cr、Au、Agなど導電性を有する非磁性材料により形成されることが好ましい。特にCuによって形成されることが好ましい。前記非磁性材料層25は例えば18～50Å

程度の膜厚で形成される。

#### 【0062】

また図1に示す磁気検出素子が、スピントネル効果の原理を用いたトンネル型磁気抵抗効果型素子（TMR素子）の場合、前記非磁性材料層25は例えば $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等の絶縁材料で形成される。

#### 【0063】

図1に示す実施形態では、前記第1フリー磁性層26は1層構造である。前記第1フリー磁性層26は、NiFe合金などで形成される。前記第1フリー磁性層26は例えば2層構造であってもよく、かかる場合、CoやCoFeなどからなる前記非磁性材料層25との相互拡散を防止するための拡散防止層と、その上にNiFe合金などで形成された磁性材料層との2層構造とすることが好ましい。前記第1フリー磁性層26は、30～50Å程度で形成される。

#### 【0064】

またこの実施形態では前記第1フリー磁性層26上に非磁性層27（点線で示されている）が形成されていてもよい。前記非磁性層27は、Cu、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Crのいずれか1種または2種以上で形成されることが好ましい。この中でも特にCuやRuを選択することが好ましい。前記非磁性層27の膜厚は例えば6Å～11Åである。この程度の薄い膜厚であると、前記第1フリー磁性層26と後述する第2フリー磁性層38間でRKKY相互作用による交換結合が発生し、前記第1フリー磁性層26と第2フリー磁性層38の磁化はトラック幅方向（図示X方向）と平行な方向であって且つ反平行状態になる。

#### 【0065】

一方、前記非磁性層27の膜厚を6Åよりも薄くしていくと、今度は、前記第1フリー磁性層26と第2フリー磁性層38の磁化とがトラック幅方向（図示X方向）に同じ方向で揃えられる。なお図1に示す実施形態では前記シードレイヤ22から非磁性層27（前記非磁性層27が形成されていない場合には第1フリー磁性層26まで）までの積層体を多層膜30と呼ぶ。

#### 【0066】

図 1 に示す実施形態では、前記多層膜 3 0 の両側端面 3 0 a が下方から上方（図示 Z 方向）に向けて前記多層膜 3 0 のトラック幅方向（図示 X 方向）への幅寸法が徐々に小さくなる傾斜面あるいは湾曲面として形成される。

#### 【 0 0 6 7 】

図 1 に示すように、前記多層膜 3 0 のトラック幅方向への幅寸法よりもさらにトラック幅方向（図示 X 方向）に長く延ばされて形成された前記下部シールド層 2 0 上から前記多層膜 3 0 の両側端面 3 0 a にかけて第 1 絶縁層 3 4 が形成される。前記第 1 絶縁層 3 4 は  $\text{Al}_2\text{O}_3$  や  $\text{SiO}_2$  等の絶縁性材料で形成される。

#### 【 0 0 6 8 】

図 1 に示す実施形態では、前記多層膜 3 0 の最上層の第 1 フリー磁性層 2 6 （非磁性層 2 7 が形成されている場合は前記非磁性層 2 7）上からトラック幅方向の両側に広がる第 1 絶縁層 3 4 上にかけて第 2 フリー磁性層 3 8 が形成されている。前記第 2 フリー磁性層 3 8 は第 1 フリー磁性層 2 6 と同様に、NiFe 合金などで形成される。また図 1 に示す実施形態では前記第 2 フリー磁性層 3 8 は 1 層構造であるが、2 層以上の積層構造であってもよい。

#### 【 0 0 6 9 】

図 1 に示す実施形態では前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D 上に非磁性層 3 9 が形成され、前記非磁性層 3 9 のトラック幅方向（図示 X 方向）の両側から前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上にかけて強磁性層 4 0 が形成されている。前記強磁性層 4 0 は CoFe、CoFeNi、NiFe、Co 等の既存の磁性材料で形成される。

#### 【 0 0 7 0 】

前記強磁性層 4 0 上には第 2 反強磁性層 4 1 が形成される。前記第 2 反強磁性層 4 1 は第 1 反強磁性層 2 3 と同様に、PtMn 合金、または、X-Mn（ただし X は、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Ni、Fe のいずれか 1 種または 2 種以上の元素である）合金で、あるいは Pt-Mn-X'（ただし X' は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Ag、Os、Cr、Ni、Ar、Ne、Xe、Kr のいずれか 1 または 2 種以上の元素である）合金で形成されることが好ましい。

#### 【 0 0 7 1 】

図 1 に示す実施形態では、前記第 2 反強磁性層 4 1 上に第 2 絶縁層 4 2 が形成されている。前記第 2 絶縁層 4 2 は、前記第 1 絶縁層 3 4 と同様に、 $Al_2O_3$  や  $SiO_2$  等の絶縁性材料で形成される。

## 【 0 0 7 2 】

また図 1 では前記第 2 絶縁層 4 2 上から前記第 2 反強磁性層 4 1 のトラック幅方向の間隔 A 内から露出する非磁性層 3 9 上にかけて Ni Fe 合金などの磁性材料で形成された上部シールド層 4 3 が形成されている。

## 【 0 0 7 3 】

図 1 に示す磁気検出素子は、前記多層膜 3 0 の上下に電極を兼ね備えたシールド層 2 0、4 3 が形成され、前記シールド層 2 0、4 3 から前記多層膜 3 0 に流れるセンス電流が前記多層膜 3 0 内の各層を膜厚方向に流れる CPP 型 (Current Perpendicular to the Plane) 型と呼ばれる構造となっている。

## 【 0 0 7 4 】

以下に図 1 に示す磁気検出素子の特徴的部分について説明する。図 1 に示す実施形態では、前記多層膜 3 0 の両側端面 3 0 a が下方から上方に向けて (図示 Z 方向に向けて) 前記多層膜 3 0 のトラック幅方向 (図示 X 方向) への幅寸法が徐々に小さくなる傾斜面あるいは湾曲面で形成され、前記両側端面 3 0 a のトラック幅方向の両側に第 1 絶縁層 3 4 が形成されている。

## 【 0 0 7 5 】

また前記第 1 絶縁層 3 4 上から前記第 1 フリー磁性層 2 6 (非磁性層 2 7 が形成されている場合は前記非磁性層 2 7) 上にかけて第 2 フリー磁性層 3 8 が形成され、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の前記第 1 絶縁層 3 4 と膜厚方向 (すなわち図示 Z 方向) で対向する素子両側端部 C 上に第 2 反強磁性層 4 1 が形成されている。ここで「素子両側端部 C」とは、前記第 2 反強磁性層 4 1 下の領域を示し、一方、「素子中央部 D」とは、トラック幅方向における前記第 2 反強磁性層 4 1 間の領域を指している。

## 【 0 0 7 6 】

図 1 に示す実施形態では、前記多層膜 3 0 のトラック幅方向への幅寸法よりも

トラック幅方向に長く延ばされて形成された第2フリー磁性層38の素子両側端部Cは、その上に形成された強磁性層40が前記第2反強磁性層41との間で発生する交換結合磁界により図示X方向に磁化固定されると、前記強磁性層40との間で発生する交換相互作用により図示X方向に磁化固定される。

## 【0077】

一方、前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dは、その上に第2反強磁性層41が形成されていないので、素子両側端部Cのように磁化固定されることはなく、前記第2フリー磁性層38の素子両側端部Cから磁性層内部の交換相互作用により媒介されるバイアス磁界により図示X方向に弱く単磁区化され、外部磁界に対し適切に磁化変動するようになっている。

## 【0078】

また前記第2フリー磁性層38下に形成された第1フリー磁性層26も、前記第2フリー磁性層38と第1フリー磁性層26間に非磁性層27が形成されていないときあるいは形成されていてもその膜厚が6Åよりも薄いとき、磁性層間の交換相互作用によって前記第2フリー磁性層38と同じ方向に弱く単磁区化され、前記第2フリー磁性層38の素子中央部とともに外部磁界に対し感度良く磁化変動するようになっている。

## 【0079】

一方、前記第2フリー磁性層38の素子中央部と前記第1フリー磁性層26間に6Å～11Å程度の非磁性層27が形成されているとき、前記第2フリー磁性層38と第1フリー磁性層26間にはRKKY相互作用による交換結合が作用し、前記第1フリー磁性層26は前記第2フリー磁性層38とは反対方向に磁化され、前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dの磁化と反平行状態を保ちながら外部磁界に対し感度良く磁化反転する。

## 【0080】

このように図1に示す実施形態では、まず第1フリー磁性層26、多層膜30よりもトラック幅方向に長く延ばされた第2フリー磁性層38及び前記第2フリー磁性層38の素子両側端部C上に形成された強磁性層40と第2反強磁性層41を組合わせて、適切にフリー磁性層の磁化制御を行うことが可能になっている。

## 【 0 0 8 1 】

そして図 1 に示す実施形態では、前記フリー磁性層の磁化制御を適切に保ちつつ、以下の構成により、シールド層 2 0、4 3 から前記多層膜 3 0 内に流れるセンス電流がトラック幅  $T_w$  より広がるのを従来に比べて効果的に抑制することが可能である。

## 【 0 0 8 2 】

すなわち図 1 に示す実施形態では前記多層膜 3 0 のトラック幅方向（図示 X 方向）における両側端面 3 0 a が例えばエッチングなどで削られ、従来に比べて前記第 2 反強磁性層 4 1 下にまで延出される前記多層膜 3 0 の長さが短くなり、前記第 2 反強磁性層 4 1 の素子両側端部 C 下には、前記多層膜 3 0 の両側端面 3 0 a に接合する第 1 絶縁層 3 4 が形成されている。

## 【 0 0 8 3 】

このため前記シールド層 2 0、4 3 から前記多層膜 3 0 内に流れるセンス電流を、前記第 1 絶縁層 3 4 の存在によってトラック幅  $T_w$  より広がって流れるのを抑制でき、従来に比べて実際に磁気抵抗効果に寄与する実効再生トラック幅の広がりを抑制でき、これによってサイドリーディングの発生を抑え、再生出力の高いエクステンジバイアス方式の CPP 型磁気検出素子を製造することが可能になったのである。

## 【 0 0 8 4 】

このように本発明では、エクステンジバイアス方式の CPP 型磁気検出素子において、前記フリー磁性層の磁化制御を適切に保ちつつ、センス電流が多層膜 3 0 内を流れるときトラック幅  $T_w$  より広がって流れるのを適切に抑制でき、よって再生出力の高い磁気検出素子を製造することができる。

## 【 0 0 8 5 】

特に高記録密度化に対応すべく狭トラック化が促進されると、従来の図 1 4 や図 1 5 の構造では、トラック幅内を流れるセンス電流量に対し、トラック幅より広がって流れるセンス電流量の割合が大きくなりやすいため実効トラック幅の広がりや再生出力の低下が大きな問題となるが、図 1 に示す実施形態では、トラッ

ク幅より広がって流れるセンス電流量を従来に比べて効果的に抑制できるから、狭トラック化になるほど図14や図15に比べてより効果的に再生出力の高い磁気検出素子を提供することが可能になっている。

## 【0086】

なお前記トラック幅 $T_w$ は図1の実施形態では第2反強磁性層41の下面間のトラック幅方向の間隔で規制され、前記トラック幅 $T_w$ は記憶装置の仕様（トラックピッチ、トラック密度など）にもよるが、例えば $0.06\mu\text{m}\sim 0.2\mu\text{m}$ 程度である。このトラック幅 $T_w$ は光学的なトラック幅とも呼ばれる。実際に磁気抵抗効果に寄与する実効再生トラック幅が、この光学的なトラック幅と同じ程度であることが好ましい。

## 【0087】

ここで前記多層膜30の下面と両側端面30a間の角度 $\theta_1$ が小さいと、前記多層膜30の下方がトラック幅方向に長く形成され、前記多層膜30の下方でセンス電流がトラック幅 $T_w$ よりもトラック幅方向に広がって流れやすくなり、実効再生トラック幅が広がりやすくなるので、前記角度 $\theta_1$ は大きい方が好ましく、前記角度 $\theta_1$ は $60^\circ$ 以上で $90^\circ$ 以下であることが好ましい。

## 【0088】

次に図1に示す第1絶縁層34は、前記多層膜30の両側端面30a全体を覆い、前記第1絶縁層34の上面34aは、前記多層膜30の上面30bと同じかあるいはそれよりも若干、高いことが好ましい。前記多層膜30の両側端面30a全体を適切に第1絶縁層34で覆うことで、センス電流がトラック幅 $T_w$ よりも広がって流れるのをより適切に抑制することができる。

## 【0089】

次に図1に示す実施形態では、前記第2反強磁性層41上にも第2絶縁層42が形成されているが、前記第2反強磁性層41上を前記第2絶縁層42で覆うことで、センス電流が前記第2反強磁性層41に分流するのを適切に抑制することができ、更に再生出力の向上を図ることが可能な磁気検出素子を製造することができる。

## 【0090】

なお前記第2絶縁層42は前記第2反強磁性層41の内側端面41a上を完全に覆い、前記第2絶縁層42の内側先端部42aが前記第2反強磁性層41間の間隔A内から露出する非磁性層39上の両側にまで延出形成されていることが、最も前記第2反強磁性層41へのセンス電流の分流を抑制できてより好ましい。なお図1に示す実施形態において前記第2絶縁層42は形成されていなくてもよい。

## 【0091】

次に図1に示す実施形態では、前記第2フリー磁性層38の素子両側端部C上には強磁性層40が形成され、その上に第2反強磁性層41が重ねて形成されているが、後述する製造方法によれば、このような形態にすることで前記第2フリー磁性層38の素子両側端部Cをより確実に図示X方向に磁化固定することが可能である。それは前記強磁性層40と第2反強磁性層41とを連続してスパッタ成膜できるからであり、連続スパッタ成膜により前記強磁性層40と前記第2反強磁性層41間に適切な大きさの交換結合磁界を生じさせ、前記強磁性層40を図示X方向に磁化固定できる。そうすると前記強磁性層40下に重ねて形成された第2フリー磁性層38の素子両側端部Cは前記強磁性層40間の交換相互作用により適切に図示X方向に磁化固定がなされ、図1の形態では、前記第2フリー磁性層38の磁化制御をより適切に行うことが可能になっている。

## 【0092】

次に図1に示す実施形態では、前記第2反強磁性層41のトラック幅方向（図示X方向）の間隔A内から前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dが露出し、この露出した前記第2フリー磁性層38の上面に非磁性層39が形成されているが、前記非磁性層39は、前記第2フリー磁性層38の素子両側端部Cと強磁性層40間にも介在していてもよい。

## 【0093】

ここで前記第2フリー磁性層38の素子両側端部Cと強磁性層40間に介在する非磁性層39の膜厚が6Å～11Å程度であると前記第2フリー磁性層38の素子両側端部Cと強磁性層40間にRKKY相互作用による交換結合が生じ、前記第2フリー磁性層38の素子両側端部Cと強磁性層40の磁化が互いに反平行

に磁化固定される。一方、前記非磁性層 39 の膜厚が 6 Å よりも薄いと前記第 2 フリー磁性層 38 の素子両側端部 C と強磁性層 40 は同じ磁化方向に固定される。

#### 【0094】

なお前記非磁性層 39 は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cu のうち 1 種またはこれらの 2 種以上の合金で形成されていることが好ましく、特に Ru によって形成されることが好ましい。前記非磁性層 39 を Ru などの非磁性材料で形成すると、前記非磁性層 39 を成膜当初、3 Å ～ 20 Å 程度の薄い膜厚で形成しても前記非磁性層 39 を酸化防止層として適切に機能させることができるとともに、前記非磁性層 39 をイオンミリングで除去する工程において低エネルギーのイオンミリングを使用でき、前記非磁性層 39 下の層に対する前記ミリングの影響を最小限に抑えることができる。

#### 【0095】

また図 1 に示す実施形態では前記第 1 フリー磁性層 26 と第 2 フリー磁性層 38 間に非磁性層 27 が介在していない場合、前記第 1 フリー磁性層 26 と第 2 フリー磁性層 38 は一体のフリー磁性層として働き、このフリー磁性層の素子両側端部 C が前記素子中央部 D の膜厚よりも薄い膜厚となる。

#### 【0096】

このように前記フリー磁性層の素子両側端部 C の膜厚を薄くすることにより、前記素子両側端部 C で発生する静磁界を減少させることができ、前記フリー磁性層の素子両側端部で発生する静磁界に由来する前記フリー磁性層の素子中央部内の磁束密度を減少させることができ、前記素子中央部で発生する不感領域（外部磁界に対し磁化反転しずらくなり、実質的に磁気抵抗効果に寄与しない領域）を低減することができるので、磁界検出感度を向上させることができる。

#### 【0097】

ところで図 1 に示す実施形態では、前記多層膜 30 中の第 1 フリー磁性層 26 は不可欠な層である。前記第 1 フリー磁性層 26 が形成されていると上記した効果（磁束密度の減少）を期待できるが、このような効果を期待しない場合（例えば前記第 1 フリー磁性層 26 と第 2 フリー磁性層 28 の素子中央部 D 間に非磁性

層 27 が残っているとき) でも、前記第 1 フリー磁性層 26 が仮に形成されないと、後述する製造方法では、前記非磁性材料層 25 の上面がイオンミリングの影響を受けたり、あるいは非磁性材料層 25 の上面に非磁性層 27 が残されたりする。このため前記非磁性材料層 25 とフリー磁性層との界面での電子散乱やスピントネル効果が効果的に起こらず、再生特性の低下に繋がって好ましくない。

## 【0098】

したがって図 1 のように、前記多層膜 30 中に第 1 フリー磁性層 26 を形成することが好ましいが、CPP-GMR で、界面でのスピン依存散乱よりも磁性層内部でのスピン依存バルク散乱を利用して MR 効果を出す設計の場合、界面がイオンミリングダメージを受けても許容できる場合がある。かかる場合、前記第 1 フリー磁性層 26 を省略してもよい。

## 【0099】

一方、トンネル MR 素子の場合は、非磁性材料層 25 が数 Å と薄いためミリングダメージは許容できず、第 1 フリー磁性層 26 は必須の層となる。

## 【0100】

次に図 1 に示す実施形態では、下部シールド層 20 及び上部シールド層 43 がシールド機能と電極を兼ね備えた磁性層となっている。前記下部シールド層 20 及び上部シールド層 43 が形成されている位置に非磁性導電材料で形成された電極層を設けてもよいが、シールド層 20、43 に電極機能を兼用させると、前記シールド層 20、43 間の間隔を縮めることができ、ギャップ長 G1 を小さくすることができ、高記録密度化に適切に対応可能な磁気検出素子を製造できて好ましい。

## 【0101】

図 2 は本発明における第 2 実施形態の磁気検出素子の記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。なお図 1 と同じ符号が付けられている層は図 1 と同じ層を示している。

## 【0102】

図 2 に示す実施形態では、図 1 と異なり、第 2 フリー磁性層 38 上に第 3 反強磁性層 44 が形成され、前記第 3 反強磁性層 44 の素子両側端部 C 上に第 2 反強

磁性層 4 1 及び第 2 絶縁層 4 2 が形成されている。

【 0 1 0 3 】

前記第 3 反強磁性層 4 4 の膜厚は 2 0 Å 以上で 5 0 Å 以下であることが好ましい。上記のように第 3 反強磁性層 4 4 を 5 0 Å 以下の薄い膜厚で形成することにより、成膜段階において第 3 反強磁性層 4 4 は反強磁性の性質を有さなくなり、磁場中アニールを施しても、第 3 反強磁性層 4 4 が規則化変態しにくく第 3 反強磁性層 4 4 と第 2 フリー磁性層 3 8 間に交換結合磁界が発生せずあるいは発生してもその値は小さく、第 2 フリー磁性層 3 8 の磁化全体が、固定磁性層 2 4 と同じように強固に固定されることがない。

【 0 1 0 4 】

また第 3 反強磁性層 4 4 が 2 0 Å 以上で形成されとしたのは、この程度の膜厚がないと、第 3 反強磁性層 4 4 の素子両側端部 C 上に第 2 反強磁性層 4 1 を形成しても、第 3 反強磁性層 4 4 の素子両側端部 C が反強磁性の性質を帯び難く、前記第 3 反強磁性層 4 4 と第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 間に適切な大きさの交換結合磁界が発生しないからである。

【 0 1 0 5 】

図 2 に示す実施形態では、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C は、第 3 反強磁性層 4 4 の素子両側端部 C 間で生じる交換結合磁界によって、より確実に図示 X 方向に磁化固定がなされ、また前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D は外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化された状態になる。

【 0 1 0 6 】

図 2 に示す実施形態では図 1 と同様にフリー磁性層の磁化制御を適切に行うことができるとともに、前記多層膜 3 0 のトラック幅方向（図示 X 方向）における両側端面 3 0 a が例えばエッチングなどで削られ、従来に比べて前記多層膜 3 0 の前記第 2 反強磁性層 4 1 下に延出される長さが短くなり、前記第 2 反強磁性層 4 1 の素子両側端部 C 下には、前記多層膜 3 0 の両側端面 3 0 a に接合する第 1 絶縁層 3 4 が形成されている。

【 0 1 0 7 】

このため前記シールド層 2 0、4 3 から前記多層膜 3 0 内に流れるセンス電流

を、前記第1絶縁層34の存在によってトラック幅 $T_w$ より広がって流れるのを抑制でき、従来に比べて実効再生トラック幅の広がりを抑制でき、サイドリーディングの発生を抑え、再生出力の高いエキスチェンジバイアス方式のCPP型磁気検出素子を製造することが可能になる。

## 【0108】

このように本発明では、エキスチェンジバイアス方式のCPP型磁気検出素子において、前記フリー磁性層の磁化制御を適切に保ちつつ、センス電流が多層膜30内を流れるときトラック幅 $T_w$ より広がって流れるのを適切に抑制でき、よって再生出力等の高い磁気検出素子を製造することができる。

## 【0109】

また図2に示す実施形態では、前記第3反強磁性層44の素子中央部D上に非磁性層45が形成されているが、この非磁性層45は製造工程中の前記第3反強磁性層44を酸化から適切に防止するための酸化防止層であり、前記非磁性層45は、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rhのいずれか1種または2種以上からなる貴金属またはCrで形成されることが好ましい。前記非磁性層45は成膜当初、3Å～20Å程度の薄い膜厚で形成され、前記第3反強磁性層44の素子両側端部Cに形成された非磁性層45がイオンミリングなどで除去され、前記第3反強磁性層44の素子両側端部C上に第2反強磁性層41が形成される。図2に示す実施形態では、前記第3反強磁性層44の素子両側端部Cに形成された非磁性層45はすべて除去され、前記非磁性層45は前記第3反強磁性層44の素子中央部D上にのみ残されているが、前記非磁性層45は、前記第3反強磁性層44の素子両側端部C上に一部残され、その膜厚は3Å以下であることが好ましい。この程度にまで前記非磁性層45を薄くすることで、前記第3反強磁性層44の素子両側端部Cに反強磁性を帯びさせることができ、前記第3反強磁性層44の素子両側端部Cと第2フリー磁性層38の素子両側端部C間に適切な大きさの交換結合磁界を生じさせることが可能になる。

## 【0110】

図3は本発明における第3実施形態の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。なお図1と同じ符号が付けられている層は図1と同じ

層を示している。

#### 【0111】

図3に示す実施形態では、前記第2フリー磁性層38の素子両側端部C上に第2反強磁性層41が形成され、さらに前記第2反強磁性層41上に $Al_2O_3$ や $SiO_2$ などの絶縁性材料で形成された第2絶縁層46が形成されている。

#### 【0112】

図3に示す実施形態では、前記第2反強磁性層41間のトラック幅方向（図示X方向）に形成された間隔B内では、前記第2フリー磁性層38の素子中央部D表面が一部削られ、前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dの膜厚が前記第2フリー磁性層38の素子両側端部Cの膜厚よりも薄くなっている。ただし図3に示す実施形態では、前記第2フリー磁性層38の素子中央部D表面38aが点線で示すように全く削られず、前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dでの膜厚と前記素子両側端部Cでの膜厚とが均一であってもよい。

#### 【0113】

さらには本発明では、前記間隔B内に第2反強磁性層41が一部、薄い膜厚で残っていてもよく、その残された第2反強磁性層41の表面41cは、図3では一点鎖線で示されている。前記第2フリー磁性層38の素子中央部D上に残された前記第2反強磁性層41の膜厚は50Å以下で形成されることが好ましい。この程度に薄く形成されると前記第2反強磁性層41の素子中央部Dと第2フリー磁性層38の素子中央部D間で交換結合磁界が生じず、あるいは生じてもその値は小さく、前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dが強固に磁化固定されることがない。

#### 【0114】

図3に示す実施形態では、前記第2反強磁性層41及び第2絶縁層46の内側端面41b、46aが下方から上方に向けて（図示Z方向に向けて）、前記間隔Bのトラック幅方向への幅寸法が徐々に大きくなる傾斜面あるいは湾曲面として形成されているが、前記内側端面41b、46aが図示Z方向と平行な垂直面で形成されていてもよい。

#### 【0115】

また図3に二点鎖線で示すように、前記第2反強磁性層41の内側端面41b上及び第2絶縁層46の内側端面46a上にも絶縁層47が形成されていることが、シールド層20、43から前記多層膜30に流れるセンス電流がより効果的に前記第2反強磁性層41に分流せず好ましい。

## 【0116】

図3に示す実施形態では、前記第2フリー磁性層38の素子両側端部Cは、第2反強磁性層41の素子両側端部C間で生じる交換結合磁界によって、より確実に図示X方向に磁化固定がなされ、また前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dは外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化された状態になる。

## 【0117】

図3に示す実施形態では図1や図2と同様にフリー磁性層の磁化制御を適切に行うことができるとともに、前記多層膜30のトラック幅方向（図示X方向）における両側端面30aが例えばエッチングなどで削られ、従来に比べて前記多層膜30の前記第2反強磁性層41下に延出する長さが短くなり、前記第2反強磁性層41の素子両側端部C下には、前記多層膜30の両側端面30aに接合する第1絶縁層34が形成されている。

## 【0118】

このため前記シールド層20、43から前記多層膜30内に流れるセンス電流を、前記第1絶縁層34の存在によってトラック幅Twより広がって流れるのを抑制でき、従来に比べて実効再生トラック幅の広がりを抑制でき、サイドリーディングの発生を抑え、再生出力の高いエキスチェンジバイアス方式のCPP型磁気検出素子を製造することが可能になる。

## 【0119】

このように本発明では、エキスチェンジバイアス方式のCPP型磁気検出素子において、前記フリー磁性層の磁化制御を適切に保ちつつ、センス電流が多層膜30内を流れるときトラック幅Twより広がって流れるのを適切に抑制でき、よって再生出力等の高い磁気検出素子を製造することができる。

## 【0120】

なお図3に示す磁気検出素子は図1及び図2とは後述するように製造方法が異

なって形成される。

#### 【0121】

図4ないし図9は、図1における磁気検出素子の製造工程図である。各図は、磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図である。

#### 【0122】

図4に示す工程では、下から下部シールド層20、シードレイヤ22、第1反強磁性層23、固定磁性層24、非磁性材料層25、フリー磁性層26及び非磁性層27を連続成膜する。なおシードレイヤ22から非磁性層27までの各層を多層膜30と呼ぶ。成膜工程にはスパッタや蒸着が使用される。スパッタ法には、DCマグネトロンスパッタ法、RFスパッタ法、イオンビームスパッタ法、ロングスロースパッタ法、コリメーションスパッタ法などを使用できる。

#### 【0123】

前記下部シールド層20をNiFe合金などの磁性材料で形成する。また前記シードレイヤ22をNiFe合金、NiFeCr合金あるいはCrなどで形成する。また前記第1反強磁性層23を、元素X（ただしXは、Pt, Pd, Ir, Rh, Ru, Osのうち1種または2種以上の元素である）とMnとを含有する反強磁性材料、あるいはX-Mn-X'合金（ただし元素X'は、Ne, Ar, Kr, Xe, Be, B, C, N, Mg, Al, Si, P, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Ir, Sn, Hf, Ta, W, Re, Au, Pb、及び希土類元素のうち1種または2種以上の元素である）を用いて形成する。

#### 【0124】

また前記固定磁性層24は人工フェリ構造と呼ばれる構造で、磁性層31、33間に非磁性中間層32が介在した3層構造となっている。前記磁性層31、33をCoFe合金、CoFeNi合金、Co、NiFe合金などの磁性材料で形成し、前記非磁性中間層32をRu、Rh、Ir、Cr、Re、Cuなどの非磁性導電材料で形成する。

#### 【0125】

また前記非磁性材料層25を、Cu、Cr、Au、Agなど導電性を有する非

磁性材料により形成する。あるいはトンネル型磁気抵抗効果型素子とする場合、前記非磁性材料層 25 を  $\text{Al}_2\text{O}_3$  などの絶縁材料で形成する。また第 1 フリー磁性層 26 を  $\text{NiFe}$  合金、 $\text{NiFeCo}$  合金等の磁性材料で形成する。さらに非磁性層 27 を貴金属で形成する。具体的には、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Ru}$ 、 $\text{Re}$ 、 $\text{Pd}$ 、 $\text{Os}$ 、 $\text{Ir}$ 、 $\text{Pt}$ 、 $\text{Au}$ 、 $\text{Rh}$ 、 $\text{Cr}$  のいずれか 1 種または 2 種以上で形成することが好ましい。

## 【0126】

$\text{Cu}$  や  $\text{Ru}$  などの貴金属からなる非磁性層 27 は大気暴露によって酸化されにくい緻密な層である。したがって非磁性層 27 の膜厚を薄くしても第 1 フリー磁性層 26 が大気暴露によって酸化されるのを適切に防止できる。

## 【0127】

図 4 では非磁性層 27 を 3 Å 以上で 20 Å 以下で形成することが好ましい。この程度の薄い膜厚の非磁性層 27 によっても適切に第 1 フリー磁性層 26 が大気暴露によって酸化されるのを適切に防止することが可能である。

## 【0128】

ここで 1 回目の磁場中アニールを施す。トラック幅  $T_w$  (図示 X 方向) と直交する方向である第 1 の磁界 (図示 Y 方向) を印加しつつ、第 1 の熱処理温度で熱処理し、第 1 の反強磁性層 23 と固定磁性層 24 を構成する磁性層 31 との間に交換結合磁界を発生させて、磁性層 31 の磁化を図示 Y 方向に固定する。もう一方の磁性層 32 の磁化は、磁性層 31 との間で働く  $\text{RKKY}$  相互作用による交換結合によって図示 Y 方向とは逆方向に固定される。なお例えば第 1 の熱処理温度を  $270^\circ\text{C}$  とし、磁界の大きさを  $800 \text{ (kA/m)}$  とする。

## 【0129】

次に図 5 に示す工程では図 4 に示す非磁性層 27 上にリフトオフ用のレジスト層 60 を形成する。

## 【0130】

そして前記レジスト層 60 に覆われていない、シードレイヤ 22 から非磁性層 27 までの多層膜 30 のトラック幅方向 (図示 X 方向) の両側領域をイオンミリングなどで除去する。

## 【 0 1 3 1 】

また図 5 に示す工程で、前記レジスト層 6 0 下に残された多層膜 3 0 のトラック幅方向（図示 X 方向）における両側端面 3 0 a は、下方から上方（図示 Z 方向）に向うにしたがって前記多層膜 3 0 のトラック幅方向への幅寸法が徐々に小さくなる傾斜面あるいは湾曲面として形成される。

## 【 0 1 3 2 】

なお図 5 工程では、前記レジスト層 6 0 下に残された多層膜 3 0 の下面と両側端面 3 0 a 間の角度  $\theta 1$  が  $60^\circ$  以上で  $90^\circ$  以下となるように、前記多層膜 3 0 のトラック幅方向の両側を削る際のイオンミリング角度を調整する必要がある。前記イオンミリングの方向はできる限り、下部シールド層 2 0 表面に対し垂直方向（図示 Z 方向と平行な方向）に近い方向にすることが好ましく、イオンミリング角度  $\theta 2$ （図示 Z 方向からの傾き）を  $0^\circ$  以上で  $30^\circ$  以下とすることが好ましい。

## 【 0 1 3 3 】

次に図 6 に示す工程では、図 5 に示す多層膜 3 0 のトラック幅方向（図示 X 方向）における両側領域に第 1 絶縁層 3 4 をスパッタ成膜する。前記第 1 絶縁層 3 4 を  $Al_2O_3$  や  $SiO_2$  などの絶縁性材料で形成することが好ましい。また前記第 1 絶縁層 3 4 を前記多層膜 3 0 の両側端面 3 0 a を完全に覆うまで成膜することが好ましく、このとき前記第 1 絶縁層 3 4 の上面 3 4 a は前記非磁性層 2 7 の上面 2 7 a と同程度かあるいはそれよりも若干高くなる。

## 【 0 1 3 4 】

また前記レジスト層 6 0 上面には前記絶縁層 3 4 と同じ材質の絶縁材料層 3 4 b が付着する。そして前記レジスト層 6 0 を除去する。

## 【 0 1 3 5 】

次に図 7 工程では、前記非磁性層 2 7 及び第 1 絶縁層 3 4 表面をイオンミリングで除去する。

## 【 0 1 3 6 】

図 7 に示すイオンミリング工程では、低エネルギーのイオンミリングを使用できる。その理由は、成膜段階で非磁性層 2 7 が  $3\text{ \AA}$  ～  $20\text{ \AA}$  程度の非常に薄い膜

厚で形成されているからである。このため、低エネルギーのイオンミリングによって非磁性層27を除去でき、従来に比べてミリング制御を向上させることができるのである。ここで低エネルギーのイオンミリングとは、ビーム電圧（加速電圧）が1000V未満のイオンビームを用いたイオンミリングであると定義される。例えば、150V～500Vのビーム電圧が用いられる。本実施の形態では、200Vの低ビーム電圧のアルゴン（Ar）イオンビームを用いている。

## 【0137】

図7工程でイオンミリング工程を行う理由は、前記非磁性層27表面は大気暴露によって酸化されているので、この酸化層を除去し、また前記非磁性層27の膜厚を薄くして第1フリー磁性層26と第2フリー磁性層間に適切な交換相互作用を生じさせるためである。

## 【0138】

図7工程では、前記イオンミリングで前記非磁性層27をすべて除去しているが、一部残されてもよい。なおすべて除去した場合でも非磁性層27を構成する元素が、第1フリー磁性層26内に拡散している場合があり、元素拡散が生じているか否かは、SIMS分析装置や透過電子顕微鏡（TEM）によるEDX分析などで調べることができる。

## 【0139】

また前記非磁性層27をイオンミリングで除去していくと、前記非磁性層27のトラック幅方向の両側に位置する第1絶縁層34の上面34aも同様にイオンミリングで削られていく。

## 【0140】

次に図8工程では、前記第1フリー磁性層26上（前記第1フリー磁性層26上に一部、非磁性層27が残されている場合には前記非磁性層27上）から前記第1絶縁層34上にかけて第2フリー磁性層38をスパッタ成膜し、さらに前記第2フリー磁性層38上に非磁性層39をスパッタ成膜する。

## 【0141】

図8工程では前記第2フリー磁性層38をNiFe合金などの磁性材料で形成することが好ましい。また単層構造でも積層構造であってもよい。また前記非磁

性層 39 を前記非磁性層 27 と同様、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cu、Cr のいずれか 1 種または 2 種以上で形成することが好ましい。

【0142】

Cu や Ru などの貴金属からなる非磁性層 39 は大気暴露によって酸化されにくい緻密な層である。したがって非磁性層 39 の膜厚を薄くしても第 2 フリー磁性層 38 が大気暴露によって酸化されるのを適切に防止できる。

【0143】

図 8 では非磁性層 39 を 3 Å 以上で 20 Å 以下で形成することが好ましい。この程度の薄い膜厚の非磁性層 39 によっても第 2 フリー磁性層 38 が大気暴露によって酸化されるのを適切に防止することが可能である。

【0144】

次に図 9 工程では、前記非磁性層 39 上にリフトオフ用のレジスト層 61 を形成する。前記レジスト層 61 の下面のトラック幅方向への幅を前記第 1 フリー磁性層 26 の上面のトラック幅方向（図示 X 方向）の長さと同程度、あるいはそれより若干小さく形成する。図 9 工程では前記レジスト層 61 に覆われていない前記非磁性層 39 の素子両側端部 C をイオンミリングで削る。上記した非磁性層 27 をイオンミリングで削るときと同様にこのイオンミリングを低エネルギーで行うことができ、このため前記非磁性層 39 下の第 2 フリー磁性層 38 に対するミリングの影響を最小限に抑えることができる。

【0145】

また図 9 では素子両側端部 C の前記非磁性層 39 を全て除去しているが、前記非磁性層 39 を一部、残してもよい。

【0146】

そして前記素子両側端部 C の非磁性層 39 を除去したことで露出した第 2 フリー磁性層 38 の素子両側端部 C 上に（前記素子両側端部 C に前記非磁性層 39 が一部残されている場合は、前記非磁性層 39 上に）強磁性層 40 をスパッタ成膜し、さらに前記強磁性層 40 上にターゲットを代えて、真空状態を破らずに第 2 反強磁性層 41 及び第 2 絶縁層 42 を連続して成膜する。

## 【0147】

図9では、前記強磁性層40を、NiFe合金、CoFe合金、CoFeNi合金あるいはCo等の磁性材料で形成する。また前記第2反強磁性層41を第1反強磁性層23と同様に、PtMn合金、または、X-Mn（ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ru, Os, Ni, Feのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で、あるいはPt-Mn-X'（ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag, Os, Cr, Ni, Ar, Ne, Xe, Krのいずれか1または2種以上の元素である）合金で形成することが好ましい。また前記第2絶縁層42をAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>やSiO<sub>2</sub>などの絶縁性材料で形成する。

## 【0148】

また前記強磁性層40、第2反強磁性層41及び第2絶縁層42をスパッタ成膜するときのスパッタ角度であるが、前記強磁性層40及び第2反強磁性層41を成膜するときのスパッタ角度は、下部シールド層20表面に対し垂直方向（図示Z方向と平行な方向）あるいは前記垂直方向に近い角度とし、前記第2絶縁層42を成膜するときのスパッタ角度は、前記強磁性層40及び第2反強磁性層41をスパッタするときの角度よりもより斜めに傾けた角度とすることが好ましい。それは、前記第2絶縁層42を前記レジスト層61の下方に形成された切欠部61a内にも成膜でき、これによって前記第2絶縁層42の内側先端部42aを前記第2反強磁性層41の内側端面41a上に適切な膜厚で形成しやすくなるからである。前記第2反強磁性層41の内側端面41a上を適切に絶縁することで、センス電流の前記第2反強磁性層41への分流を適切に抑制することができて好ましい。またこのとき前記第2絶縁層42の内側先端部42aを前記素子中央部Dに露出する非磁性層39のトラック幅方向の両側に接合させる（これをオーバーラップ形状という）と、より前記センス電流の分流ロスを抑制できて好ましい。前記オーバーラップ形状にするには、前記スパッタ角度を規制するか、あるいは一旦、前記レジスト層61を除去し、前記レジスト層61よりも下面の幅が狭いレジスト層（図示しない）を新たに前記素子中央部Dの非磁性層39上に形成し、前記レジスト層と第2反強磁性層41間に形成されたトラック幅方向の隙間に前記第2絶縁層42の内側先端部42aが潜り込んで成膜されるようにすれ

ばよい。

【0149】

前記第2絶縁層42までを成膜した後、前記レジスト層61を有機溶剤などで除去（リフトオフ）する。なお前記レジスト層61上面には、強磁性層40と同じ材質の強磁性材料40a、第2反強磁性層41と同じ材質の反強磁性材料層41d、および第2絶縁層42と同じ材質の絶縁性材料層42bが付着している。

【0150】

そして2回目の磁場中アニールを施す。このときの磁場方向は、トラック幅方向（図示X方向）である。なおこの第2の磁場中アニールは、第2の印加磁界を、第1反強磁性層23の交換異方性磁界よりも小さく、また第1フリー磁性層26、第2フリー磁性層38及び強磁性層40の磁化が反平行の関係にある場合はそれらのスピントロップ磁界よりも小さく、しかも熱処理温度を、第1反強磁性層23のブロッキング温度よりも低くする。

【0151】

上記条件の磁場中アニールを施すことで、第1反強磁性層23と第2反強磁性層41に同じ材質の反強磁性材料を使用しても、前記固定磁性層24の磁化をハイト方向に保ったまま、第1フリー磁性層26、第2フリー磁性層38の磁化を図示X方向に向けることができる。

【0152】

図9に示す形態では、前記磁場中アニールで、前記第2反強磁性層41と強磁性層40間に図示X方向の交換結合磁界が発生すると、前記強磁性層40が図示X方向に磁化固定される。そうすると前記強磁性層40と膜厚方向で対向する前記第2フリー磁性層38の素子両側端部Cは前記強磁性層40との間での交換相互作用により図示X方向に磁化固定され、一方、前記第2フリー磁性層38の素子中央部D及び第1フリー磁性層26は図示X方向に外部磁界に対し磁化反転できる程度に弱く単磁区化される。

【0153】

ところで図9では、前記第1フリー磁性層26と第2フリー磁性層38の素子中央部D間、および第2フリー磁性層38の素子両側端部Cと強磁性層40間に

は、非磁性層 27、39 が残されていないが、残されている場合には、前記第 1 フリー磁性層 26 及び第 2 フリー磁性層 38 は以下のように磁化される。

【0154】

すなわち前記非磁性層 27、39 の膜厚が例えば  $6\text{ \AA}$  ～  $11\text{ \AA}$  で残されていると、強磁性層 40 と第 2 フリー磁性層 38 間には RKKY 相互作用による交換結合が作用し、磁化が互いに反平行状態になる。すなわち例えば前記強磁性層 40 が図示 X 方向に磁化固定されると、前記第 2 フリー磁性層 38 の素子両側端部 C は図示 X 方向と反対方向に磁化固定される。

【0155】

そして前記第 2 フリー磁性層 38 の素子中央部 D も図示 X 方向と反対方向に磁化が揃えられ、前記非磁性層 27 の存在により前記第 1 フリー磁性層 26 と第 2 フリー磁性層 38 の素子中央部 D 間に働く RKKY 相互作用による交換結合によって、前記第 1 フリー磁性層 26 は前記第 2 フリー磁性層 38 の磁化と反対方向である図示 X 方向に揃えられる。従って前記第 1 フリー磁性層 36 と第 2 フリー磁性層 38 の素子中央部 D は互いに反平行の磁化状態を保ちながら、外部磁界に対し磁化変動することになる。

【0156】

なお非磁性層 27、39 の膜厚が  $6\text{ \AA}$  よりも薄い膜厚であると、第 1 フリー磁性層 26 と第 2 フリー磁性層 38、または第 2 フリー磁性層 38 と強磁性層 40 は互いに同じ方向に磁化される。

【0157】

図 9 工程後、図 1 に示す上部シールド層 43 を前記第 2 絶縁層 42 上から前記第 2 反強磁性層 41 間の間隔内に露出する素子中央部 D の非磁性層 39 上にかけて形成すると、図 1 に示す磁気検出素子が完成する。

【0158】

次に図 2 に示す磁気検出素子の製造方法について以下に説明する。まず図 4 ないし図 7 に示す工程を施した後、図 10 に示す工程を施す。

【0159】

図 10 工程では、前記第 1 絶縁層 34 上から第 1 フリー磁性層 26 (前記第 1

フリー磁性層 2 6 上に非磁性層 2 7 が残されている場合には前記非磁性層 2 7) 上にかけて第 2 フリー磁性層 3 8、第 3 反強磁性層 4 4 及び非磁性層 4 5 を連続してスパッタ成膜する。

#### 【0 1 6 0】

前記第 3 反強磁性層 4 4 には、第 1 反強磁性層 2 3、及び次工程で形成される第 2 反強磁性層 4 1 に使用される反強磁性材料を使用できる。また前記第 3 反強磁性層 4 4 を 2 0 Å 以上で 5 0 Å 以下の膜厚で形成する。また非磁性層 4 5 を、Ru、Re、Pd、Os、Ir、Pt、Au、Rh、Cr、Cu のいずれか 1 種または 2 種以上で形成することが好ましく、また前記非磁性層 4 5 を、3 Å 以上で 2 0 Å 以下の薄い膜厚で形成することが好ましい。前記第 3 反強磁性層 4 4 上に非磁性層 4 5 を形成することで、図 1 0 に示す製造工程中の磁気検出素子が大気暴露されても第 3 反強磁性層 4 4 が酸化されるのを適切に防止できる。

#### 【0 1 6 1】

なお図 1 0 の状態で一回目の磁場中アニールを施してもよい。上記した一回目の磁場中アニールを施しても前記第 3 反強磁性層 4 4 は 5 0 Å 以下の薄い膜厚で形成されているため非反強磁性の性質を帯び、前記第 3 反強磁性層 4 4 と第 2 フリー磁性層 3 8 間に交換結合磁界が発生せず、あるいは発生してもその値は小さいため、前記第 2 フリー磁性層 3 8 が固定磁性層 2 4 を構成する磁性層 3 1、3 3 と同様に強固に磁化固定させることはない。

#### 【0 1 6 2】

次に図 1 1 に示す工程では、前記非磁性層 4 5 上にリフトオフ用のレジスト層 6 3 を形成する。前記レジスト層 6 3 の下面のトラック幅方向（図示 X 方向）への幅寸法は第 1 フリー磁性層 2 6 の上面のトラック幅方向への幅寸法と同じかあるいは若干小さいことが好ましい。次に前記レジスト層 6 3 に覆われていない素子両側端部 C 上の非磁性層 4 5 をイオンミリングで除去する。前記非磁性層 4 5 は Ru など形成され、さらに 3 Å 以上の 2 0 Å 以下の膜厚で形成される。よって低エネルギーのイオンミリングで前記非磁性層 4 5 を除去できる。図 1 1 工程では前記素子両側端部 C 上の非磁性層 4 5 をすべて除去しているが、一部残してもよい。ただし非磁性層 4 5 を 3 Å 以下の非常に薄い膜厚で残す。

## 【 0 1 6 3 】

そして図 1 1 に示すように前記レジスト層 6 3 のトラック幅方向の両側に露出した前記第 3 反強磁性層 4 4 上（一部、非磁性層 4 5 が残されている場合には前記非磁性層 4 5 上）に第 2 反強磁性層 4 1 及び第 2 絶縁層 4 2 を連続してスパッタ成膜する。そして前記レジスト層 6 3 を除去した後、上記した 2 回目の磁場中アニールを施す。

## 【 0 1 6 4 】

上記のように第 3 反強磁性層 4 4 を 5 0 Å 以下の薄い膜厚で形成することにより、第 3 反強磁性層 4 4 の素子中央部 D は反強磁性の性質を有さなくなり、2 回目の磁場中アニールを施しても、第 3 反強磁性層 4 4 の素子中央部 D は規則化変態しにくく第 3 反強磁性層 4 4 と第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D 間に交換結合磁界が発生せずあるいは発生してもその値は小さく、第 2 フリー磁性層 3 8 の素子中央部 D の磁化が、固定磁性層 2 4 と同じように強固に固定されることがない。

## 【 0 1 6 5 】

また第 3 反強磁性層 4 4 が 2 0 Å 以上で形成されとしたのは、この程度の膜厚がないと、前記第 3 反強磁性層 4 4 の素子両側端部 C 上に第 2 反強磁性層 4 1 を形成しても、第 3 反強磁性層 4 4 の素子両側端部 C が反強磁性の性質を帯び難く、前記第 3 反強磁性層 4 4 と第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 間に適切な大きさの交換結合磁界が発生しないからである。

## 【 0 1 6 6 】

また前記第 3 反強磁性層 4 4 を設ける意義は、前記第 3 反強磁性層 4 4 を形成せず、前記第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 上に直接、第 2 反強磁性層 4 1 をリフトオフで形成しても前記第 2 反強磁性層 4 1 と第 2 フリー磁性層 3 8 の素子両側端部 C 間に適切な大きさの交換結合磁界が生じないからである。

## 【 0 1 6 7 】

上記した 2 回目の磁場中アニールを施した後、前記第 2 絶縁層 4 2 上から前記第 2 反強磁性層 4 1 間の間隔内に露出する非磁性層 4 5 上にかけて上部シールド層 4 3 を形成する。これによって図 2 に示す磁気検出素子が完成する。

## 【0168】

次に図3に示す磁気検出素子の製造方法について以下に説明する。まず図4ないし図7と同様の工程を施した後、図12に示す工程を施す。

## 【0169】

図12に示す工程では、前記第1絶縁層34上から第1フリー磁性層26上（前記第1フリー磁性層26上に一部、非磁性層27が残されている場合は、前記非磁性層27上）にかけて第2フリー磁性層38、第2反強磁性層41、及び第2絶縁層46を連続してスパッタ成膜する。各層の材質については既に説明したのでそちらを参照されたい。

## 【0170】

次に図12に示す工程では前記第2絶縁層46上にマスク層64を形成する。前記マスク層64にはその図示中央に間隔Eが形成されており、前記間隔Eのトラック幅方向（図示X方向）への幅は、第1フリー磁性層26の上面のトラック幅方向への幅と同じかあるいはそれよりも若干小さくする。なお内側端面46a、41bが傾斜面、湾曲面で形成される場合は、若干広くてもよい。

## 【0171】

前記マスク層64は例えばレジストや金属材料で形成される。図12の例では前記マスク層64をレジストで形成し、前記間隔Eを露光現像で形成している。図12に示すように前記マスク層64の内側端面64aは、前記間隔Eのトラック幅方向への幅が下方から上方に向うにしたがって徐々に広がる傾斜面あるいは湾曲面として形成されているが、下部シールド層20上面に対し垂直方向（図示Z方向）と平行な方向の垂直面で形成されていてもよい。

## 【0172】

次に図13に示す工程では、前記マスク層64の間隔E内から露出する第2絶縁層46及び第2反強磁性層41をイオンミリングなどで掘り込む。図13では、前記イオンミリングで前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dの上面が若干削り込まれるが、前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dの上面が前記ミリングの影響をほとんど受けず、図13の点線Fで示すように前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dの膜厚が前記素子両側端部Cの膜厚と均一な厚さで残されて

もよい。

【0173】

また図13に示すように、前記第2反強磁性層41の素子中央部Dが図13の一点鎖線Gで示すように薄い膜厚で前記間隔E内に残されてもよい。ただし前記第2反強磁性層41の素子中央部Dの膜厚は50Å以下であることが好ましい。この程度にまで前記第2反強磁性層41の膜厚が薄いと、前記第2反強磁性層41の素子中央部Dと第2フリー磁性層38間で上記した2回目の磁場中アニールを施しても交換結合磁界が生じず、前記第2フリー磁性層38の素子中央部Dが図示X方向に強固に固定されるといった不具合が生じない。

【0174】

そして前記マスク層64を除去し、上記した2回目の磁場中アニールを施すと、図3の磁気検出素子が完成する。

【0175】

なお図3の磁気検出素子は、図1及び図2に比べてより簡単に製造できる点にメリットがある。また図3に示す絶縁層47の製造であるが、これは以下の方法によって形成することができる。

【0176】

まず図13工程後に前記絶縁層47を形成するとき、基板に対して垂直方向から斜めに傾けたスパッタ角度で、前記絶縁層47を素子全体に成膜する（図示しない）。これにより、前記第2反強磁性層41及び第2絶縁層46の内側端面41b、46a上に形成された前記絶縁層47の膜厚を、間隔Eから露出する第2フリー磁性層38上面や第2絶縁層46の上面に形成された絶縁層47の膜厚よりも厚く形成することができる。そして次に、前記間隔Eから露出する第2フリー磁性層38上面に形成された絶縁層47を集中的に除去する。そのためにはミリングの際のミリング角度を、前記絶縁層47を形成するときのスパッタ角度よりも、垂直方向に近い角度とする。これにより集中的に前記間隔Eから露出する第2フリー磁性層38上面に形成された絶縁層47を除去でき、前記絶縁層47を前記第2反強磁性層41及び第2絶縁層46の内側端面41b、46a上に所定膜厚で残すことが可能になるのである。

## 【0177】

以上、本発明の磁気検出素子の製造方法によれば、多層膜30の両側端面30aをエッチングで削り、前記両側端面30aに第1絶縁層34を形成する点、さらに前記第1絶縁層34上から前記多層膜30上にかけて第2フリー磁性層38を形成する点、および前記第2フリー磁性層38上面の前記第1絶縁層34と膜厚方向で対向する位置に第2反強磁性層41を形成する点に特徴がある。そして本発明の製造方法では、容易に且つ確実にエキスチェンジバイアス方式のCPP型の磁気検出素子のフリー磁性層を磁化制御できるとともに、多層膜30のトラック幅方向の両側を第1絶縁層34で埋めることで、センス電流が前記多層膜30内を流れたときに、従来に比べてトラック幅Twよりも広がって流れることを適切に抑制できる磁気検出素子を製造することが可能である。

## 【0178】

なお本発明における磁気検出素子は、ハードディスク装置に搭載される薄膜磁気ヘッドにのみ使用可能なものではなく、テープ用磁気ヘッドや磁気センサなどにも使用可能なものである。

## 【0179】

以上本発明をその好ましい実施例に関して述べたが、本発明の範囲から逸脱しない範囲で様々な変更を加えることができる。

## 【0180】

なお、上述した実施例はあくまでも例示であり、本発明の特許請求の範囲を限定するものではない。

## 【0181】

## 【発明の効果】

以上詳述した本発明によれば、多層膜のトラック幅方向の両側に第1絶縁層を設け、前記多層膜上から前記第1絶縁層上にかけて第2フリー磁性層を設け、さらに前記第2フリー磁性層の素子両側端部上に第2反強磁性層を設けた点に特徴がある。

## 【0182】

前記第2フリー磁性層の素子両側端部は、前記第2反強磁性層との間で発生す

る交換結合磁界によって磁化がトラック幅方向に固定される。一方、前記第2フリー磁性層の素子中央部では、前記交換結合磁界が働かず、磁性層内の交換相互作用により媒介されたバイアス磁界によってトラック幅方向に弱く単磁区化された状態であり、第1フリー磁性層とともに、外部磁界に対し感度良く磁化反転するようになっている。本発明ではこのように第1フリー磁性層、第2フリー磁性層、および第2反強磁性層の組合わせにより、適切にフリー磁性層の磁化制御を行うことが可能になっている。

## 【 0 1 8 3 】

そして本発明では前記多層膜のトラック幅方向への幅寸法を従来よりも縮め、前記第2反強磁性層下に前記第2フリー磁性層を介して第1絶縁層を設けているためセンス電流は、前記第1絶縁層の存在で、従来より前記多層膜内をトラック幅 $T_w$ よりもトラック幅方向に広がって流れにくくなり、前記フリー磁性層の磁化制御を適切に保ちつつ、効果的に実効再生トラック幅の広がりを抑え、サイドリーディングの発生を抑制し、再生出力の向上を図ることが可能になっている。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図1】

本発明の第1実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

## 【図2】

本発明の第2実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

## 【図3】

本発明の第3実施形態の磁気検出素子の構造を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

## 【図4】

図1に示す磁気検出素子の製造方法を示す一工程図、

## 【図5】

図4の次に行なわれる一工程図、

## 【図6】

図 5 の次に行なわれる一工程図、

【図 7】

図 6 の次に行なわれる一工程図、

【図 8】

図 7 の次に行なわれる一工程図、

【図 9】

図 8 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 0】

図 2 に示す磁気検出素子の製造方法を示す一工程図、

【図 1 1】

図 1 0 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 2】

図 3 に示す磁気検出素子の製造方法を示す一工程図、

【図 1 3】

図 1 2 の次に行なわれる一工程図、

【図 1 4】

従来の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【図 1 5】

従来の別の磁気検出素子を記録媒体との対向面側から見た部分断面図、

【符号の説明】

2 0 下部シールド層

2 2 シードレイヤ

2 3 第 1 反強磁性層

2 4 固定磁性層

2 5 非磁性材料層

2 6 第 1 フリー磁性層

2 7、4 5 非磁性層

3 0 多層膜

3 4 第 1 絶縁層

38 第2フリー磁性層

40 強磁性層

41 第2反強磁性層

42、46 第2絶縁層

43 上部シールド層

44 第3反強磁性層

47 絶縁層

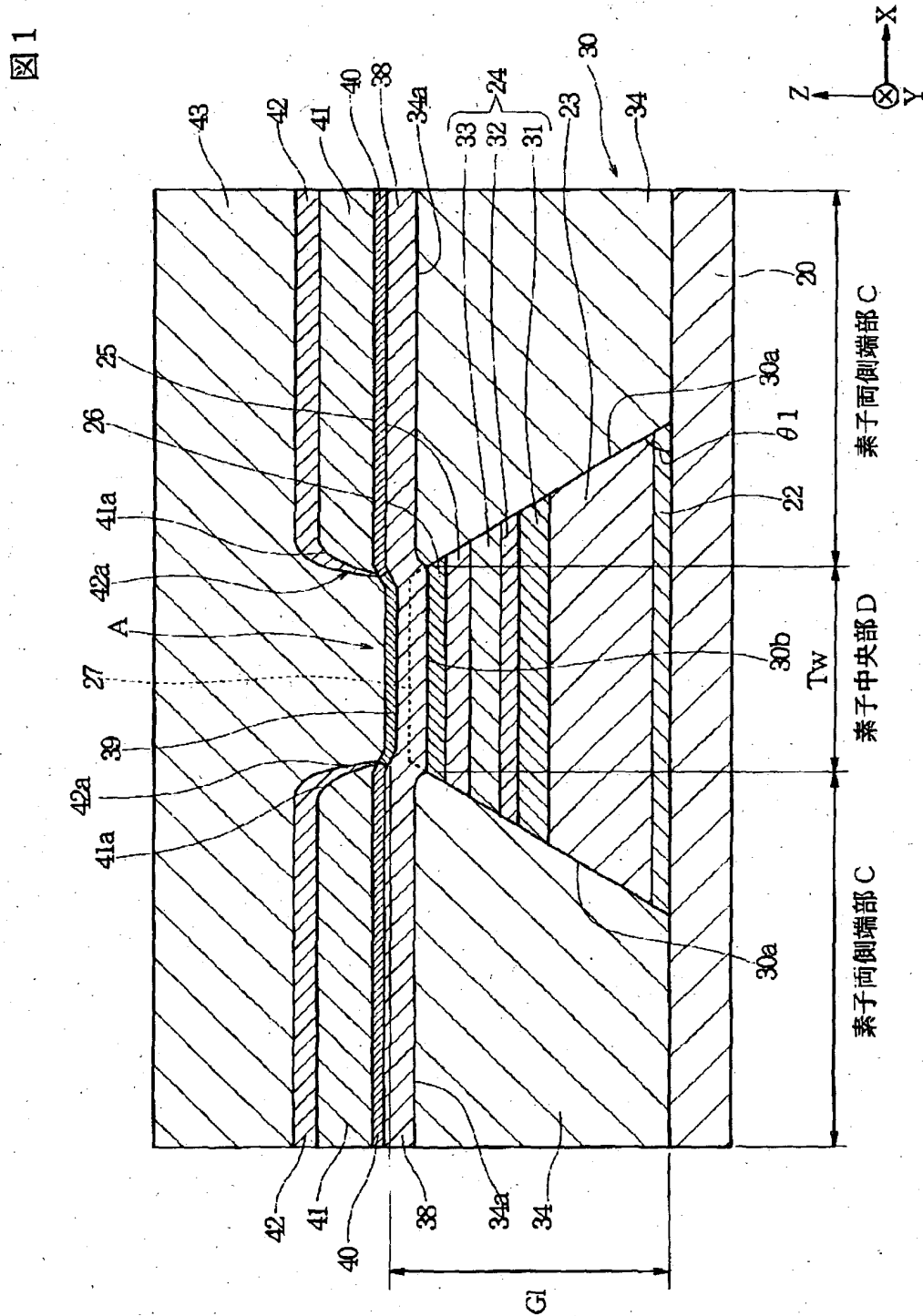
60、61、63 レジスト層

64 マスク層

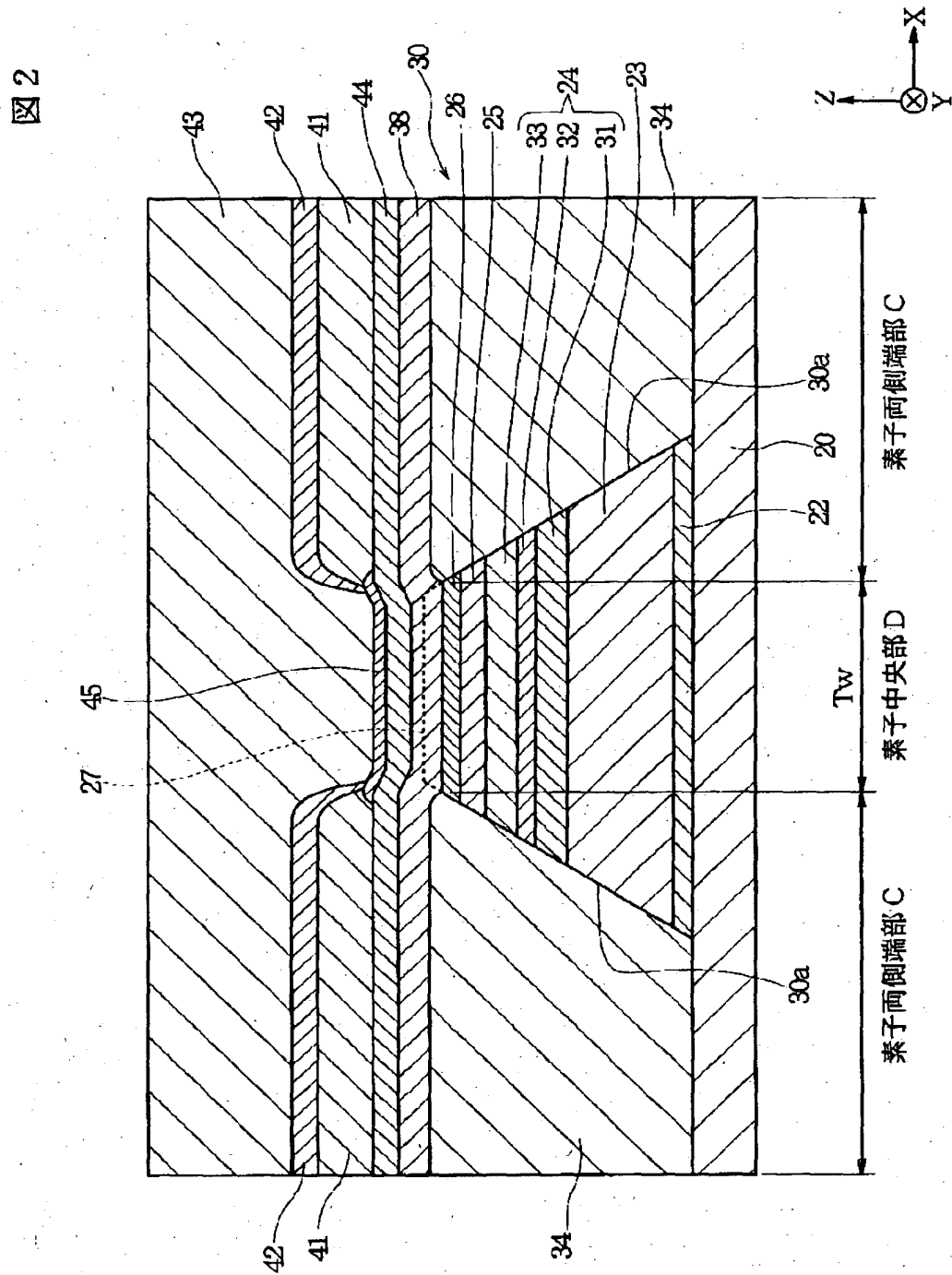
【書類名】

凶面

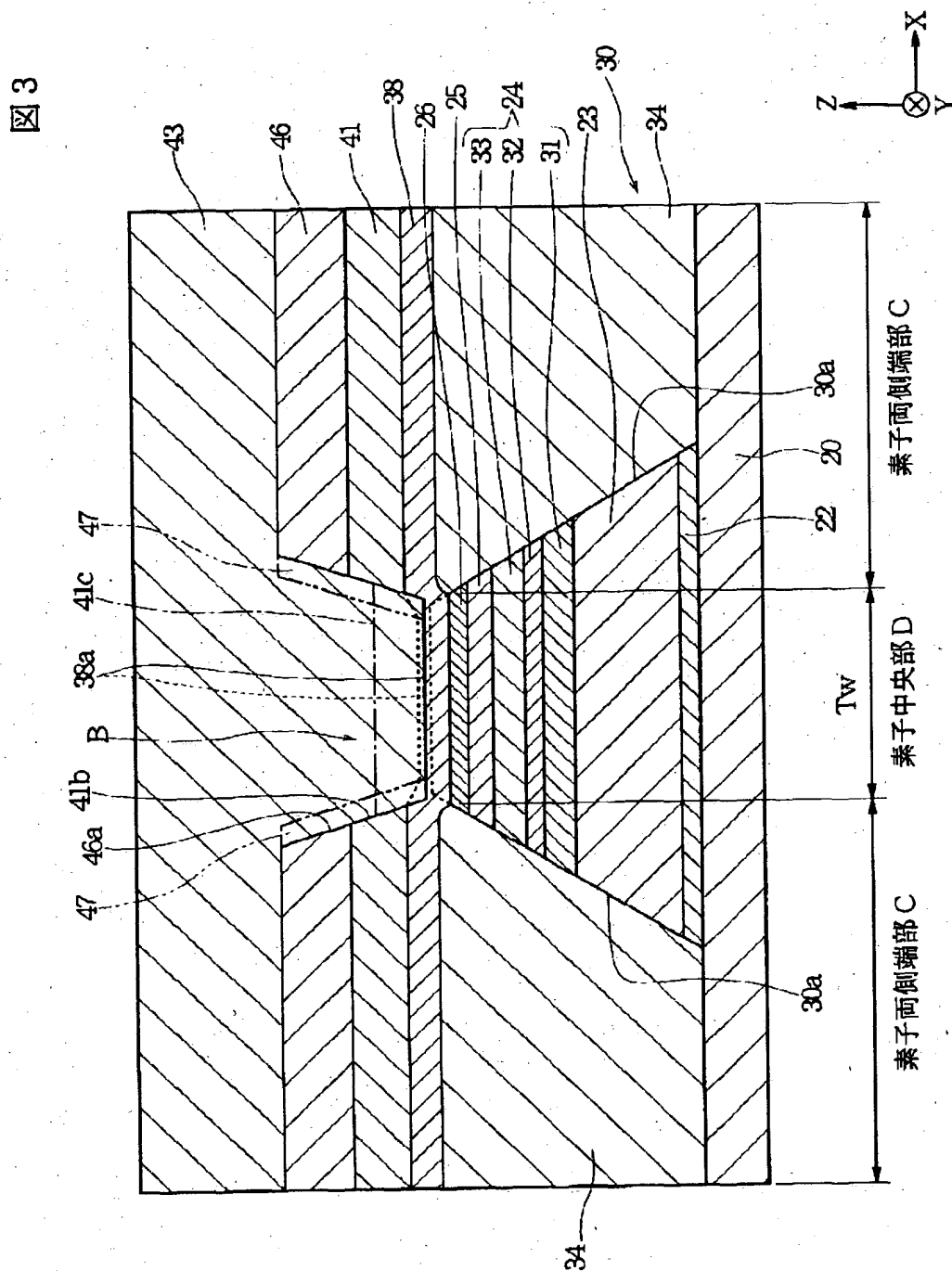
【図 1】



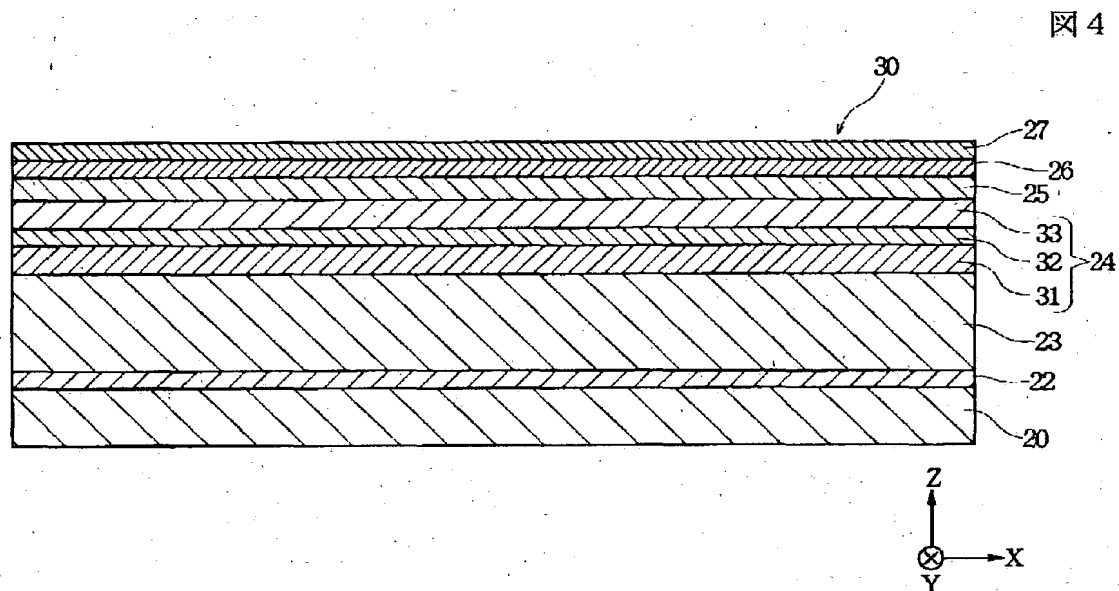
【図2】



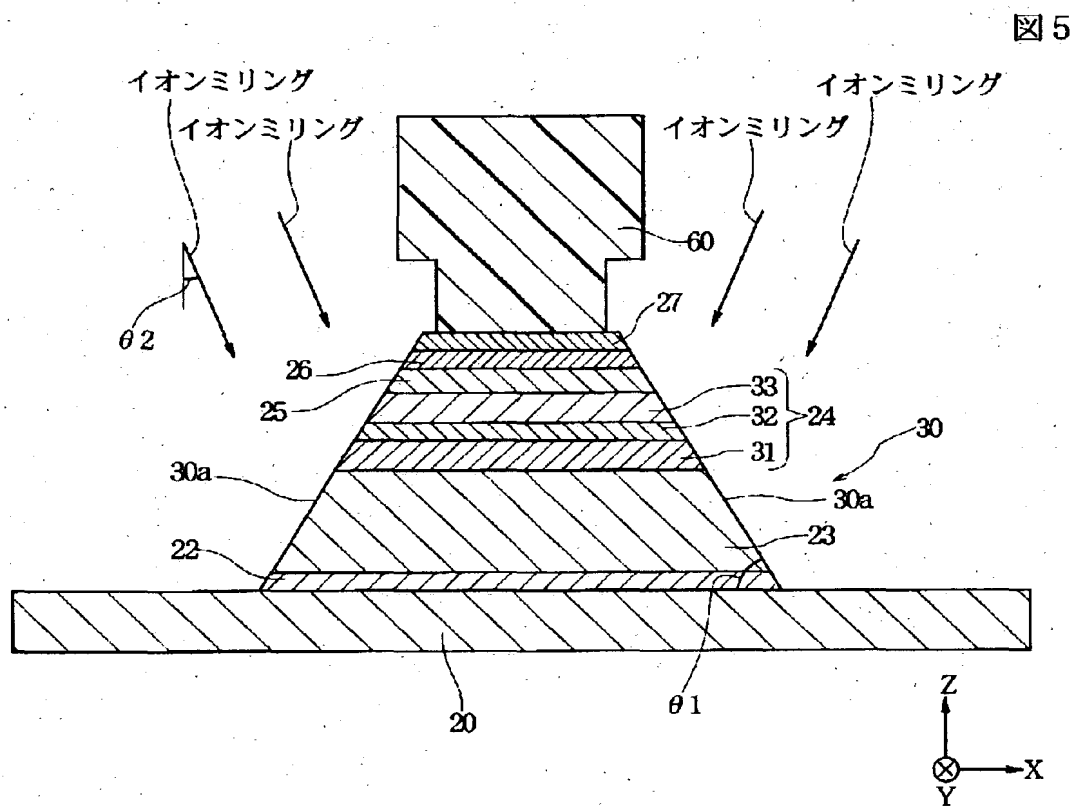
【図3】



【図4】

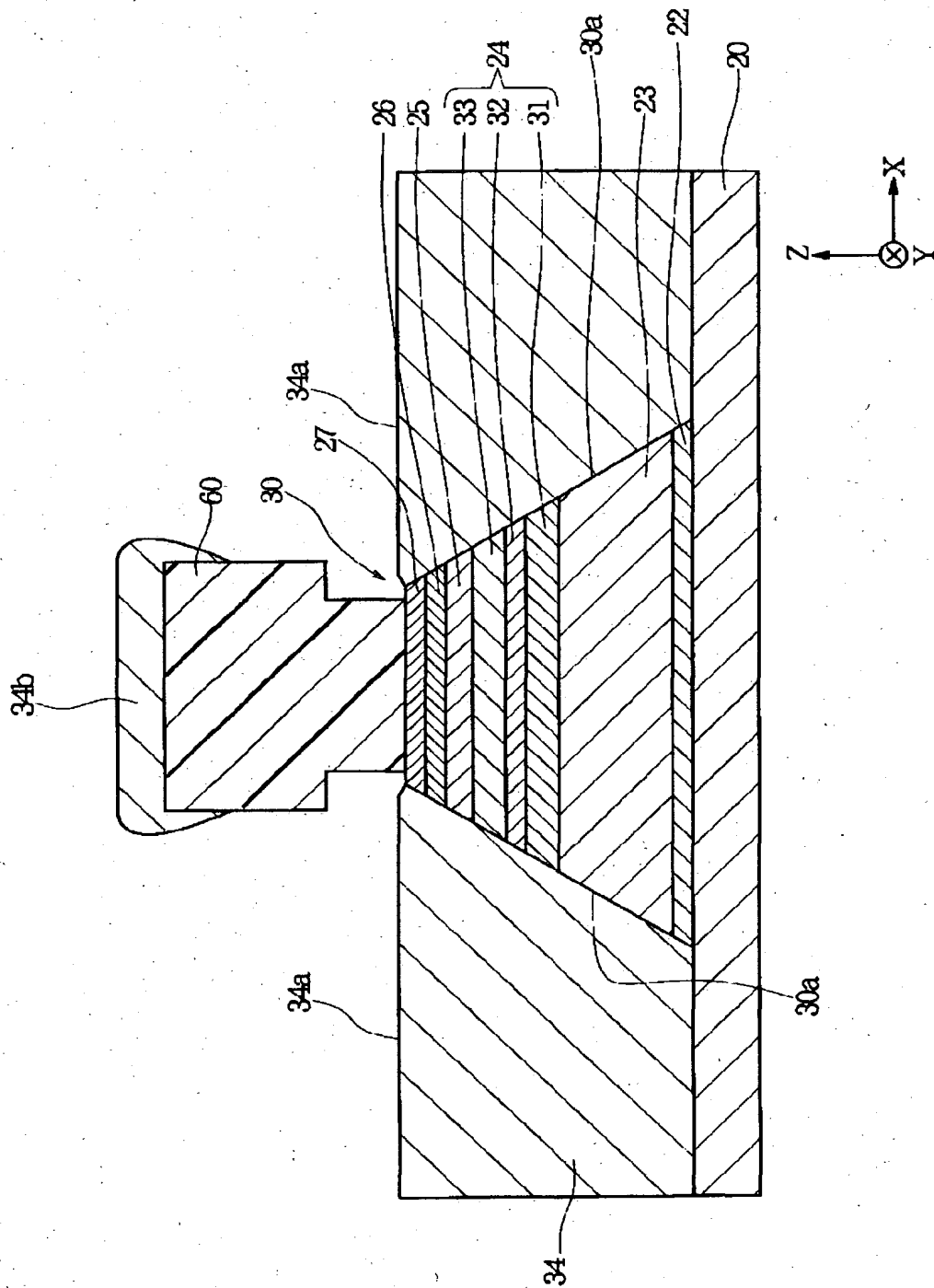


【図5】



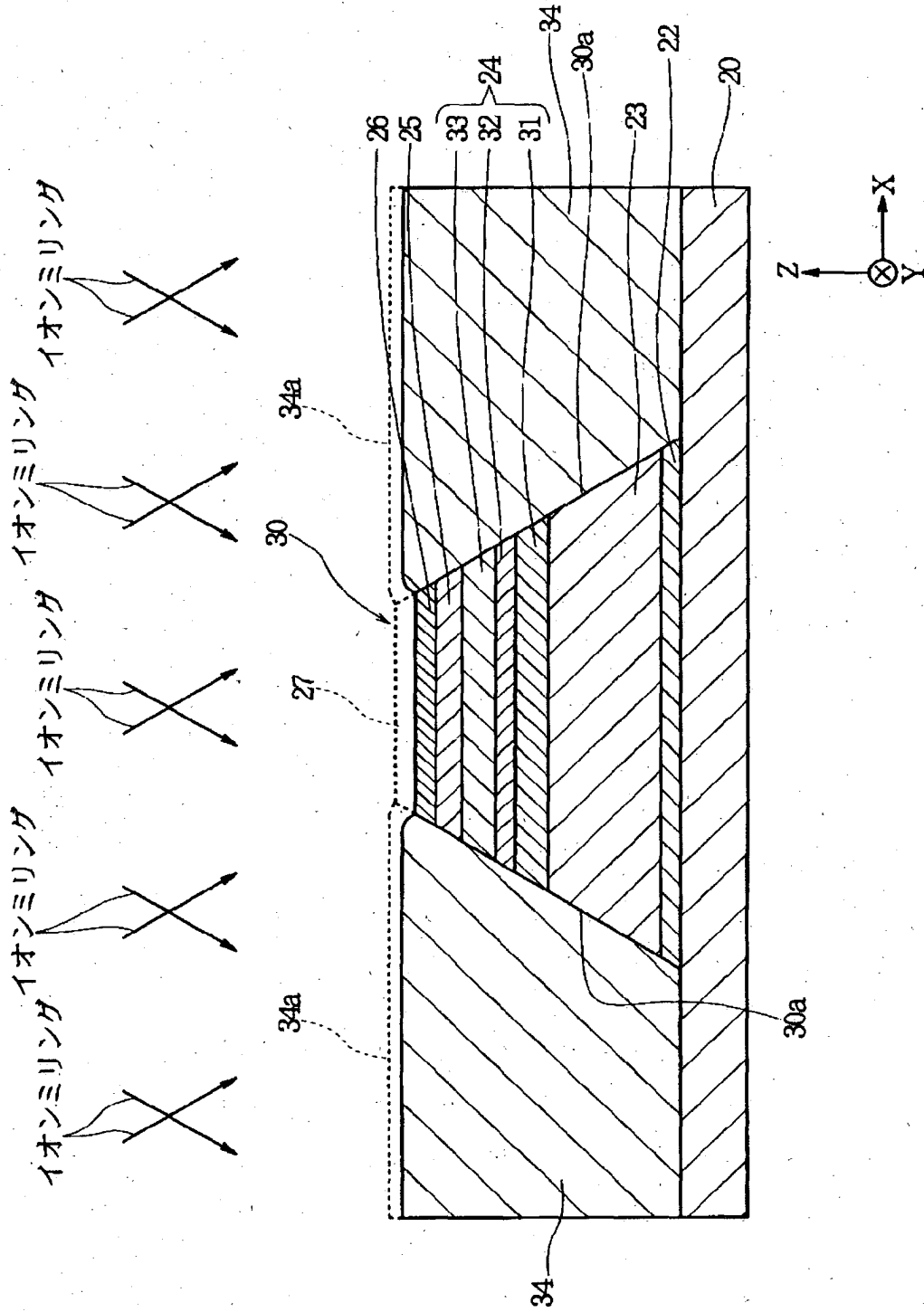
【図6】

図6

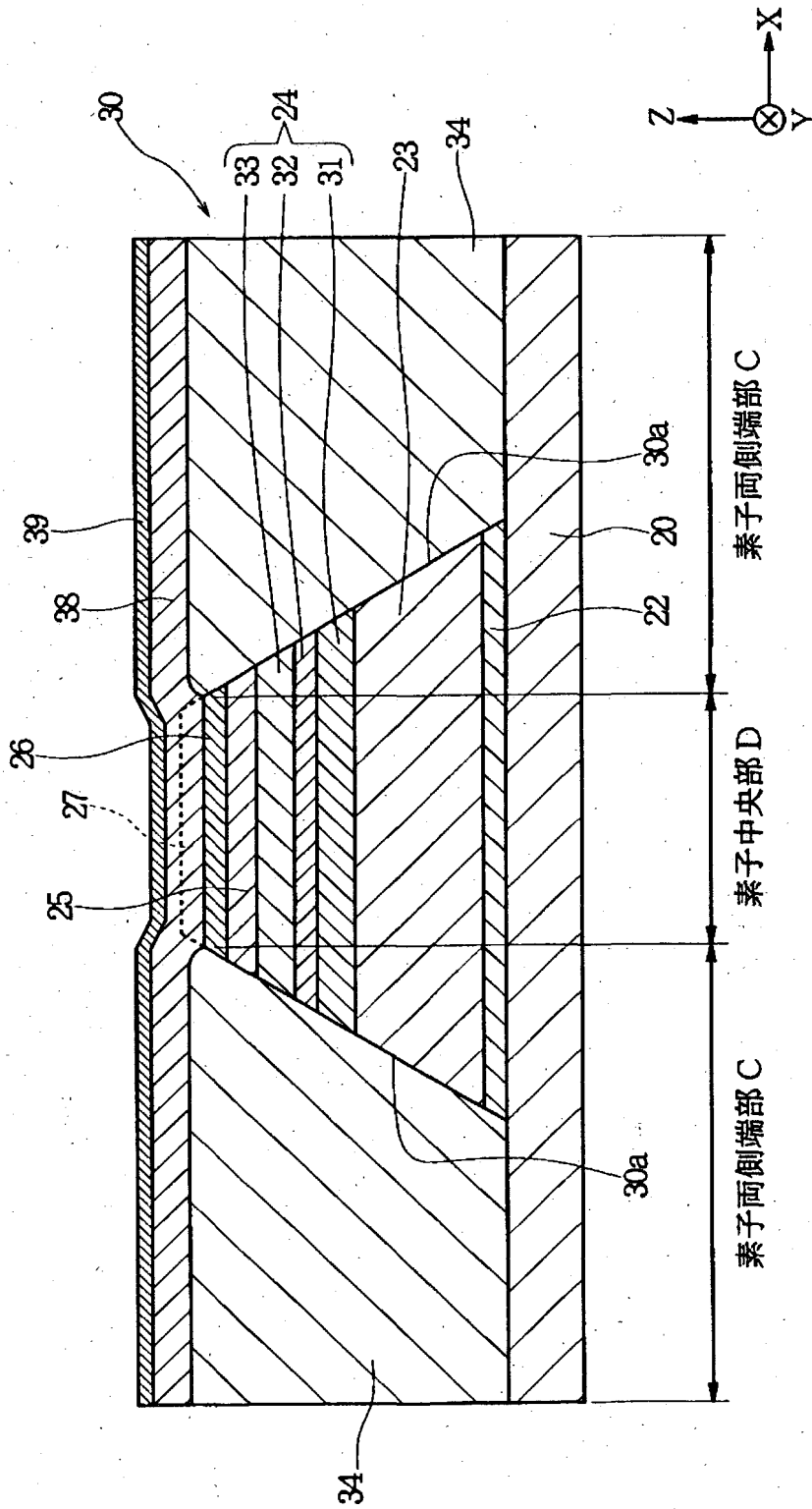


【図7】

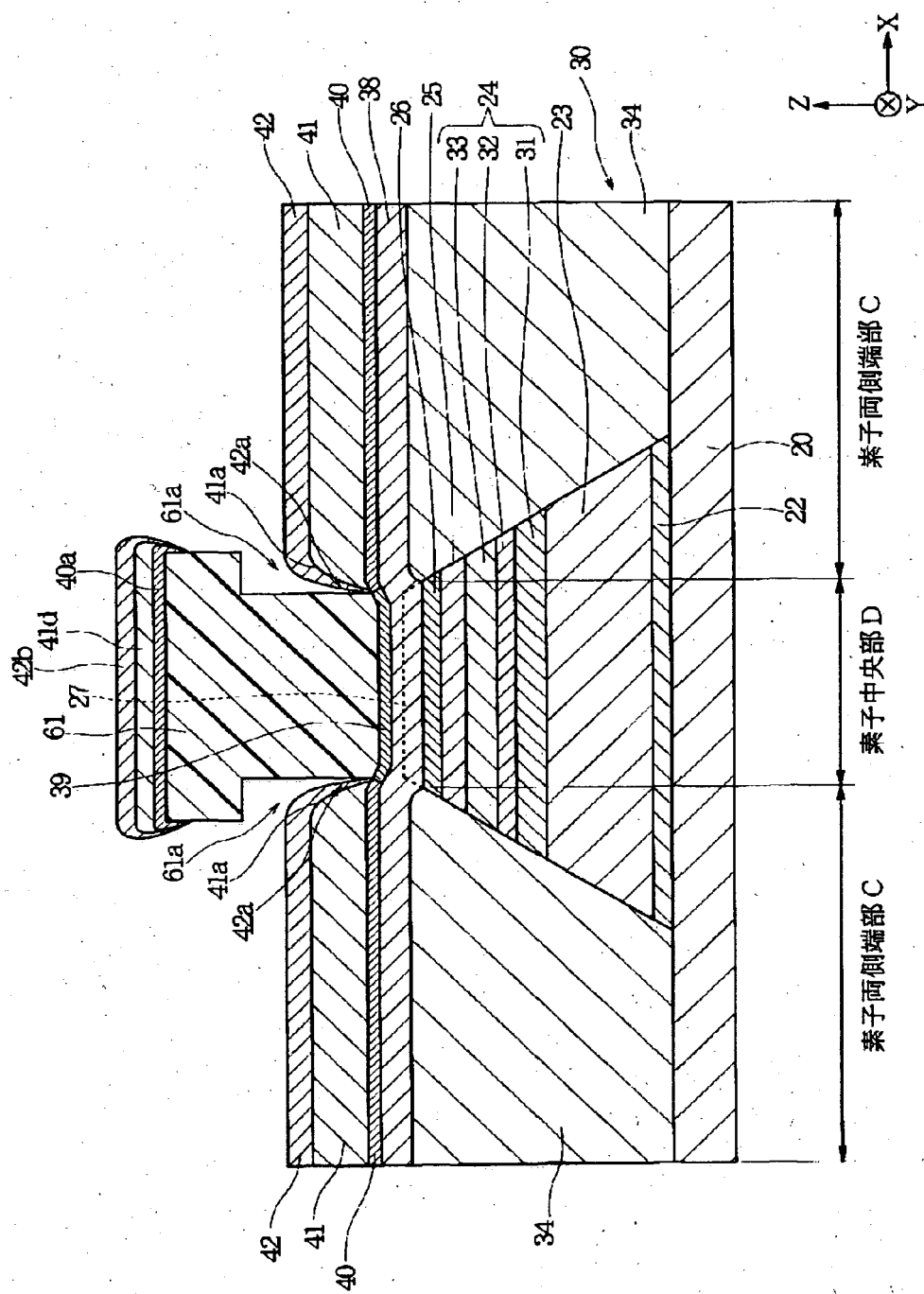
図7



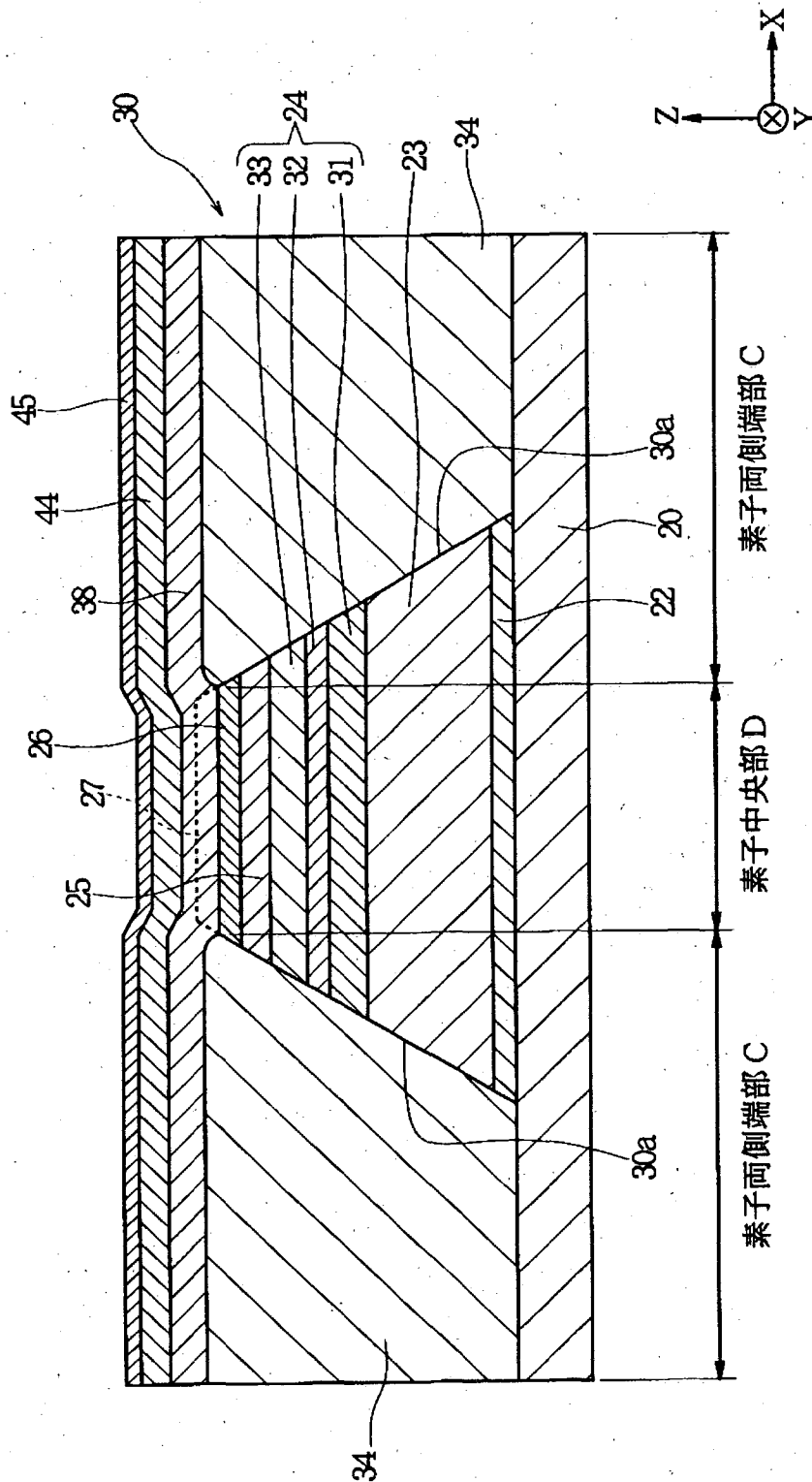
【図8】



【図 9】

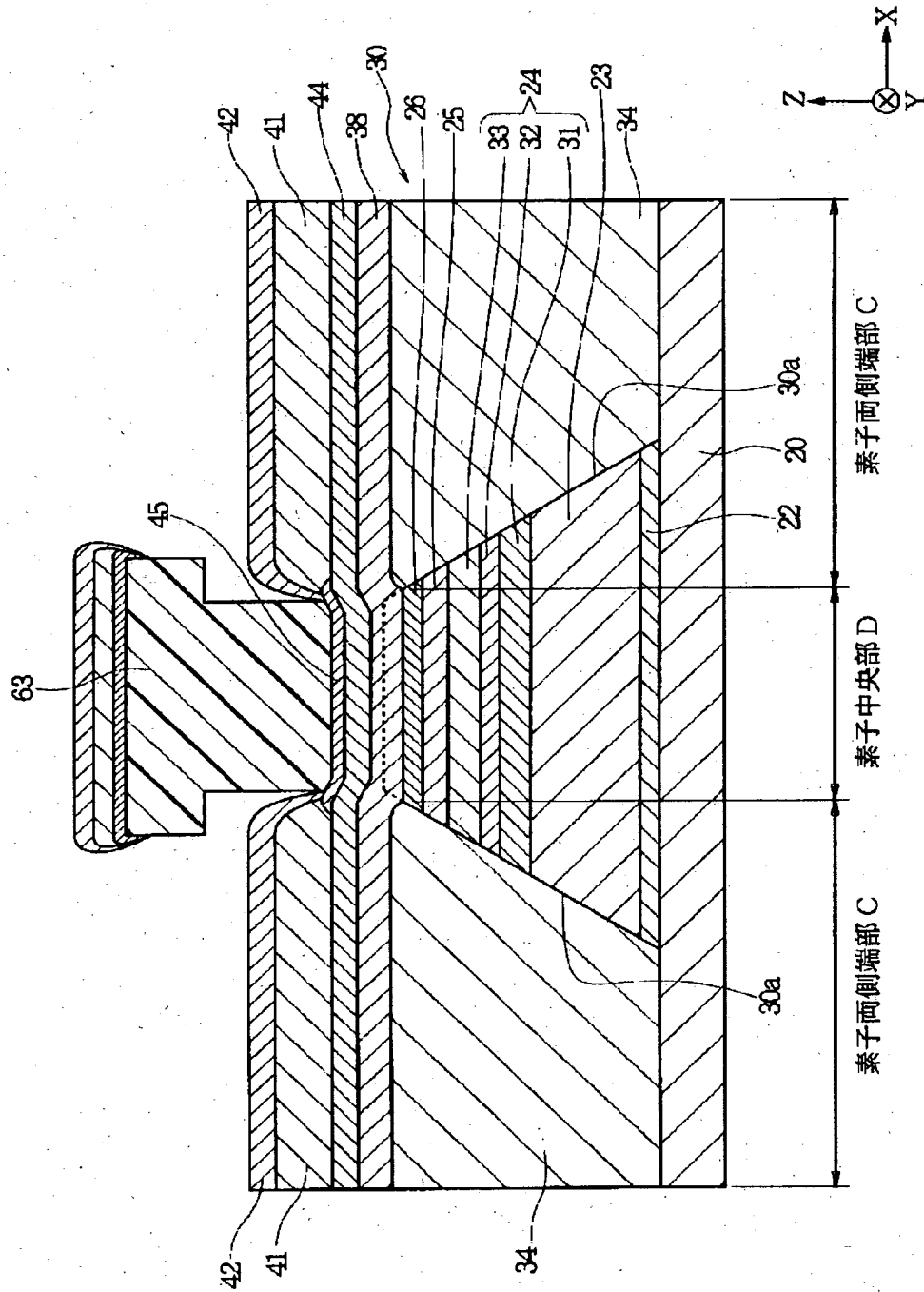


【图 1.0】

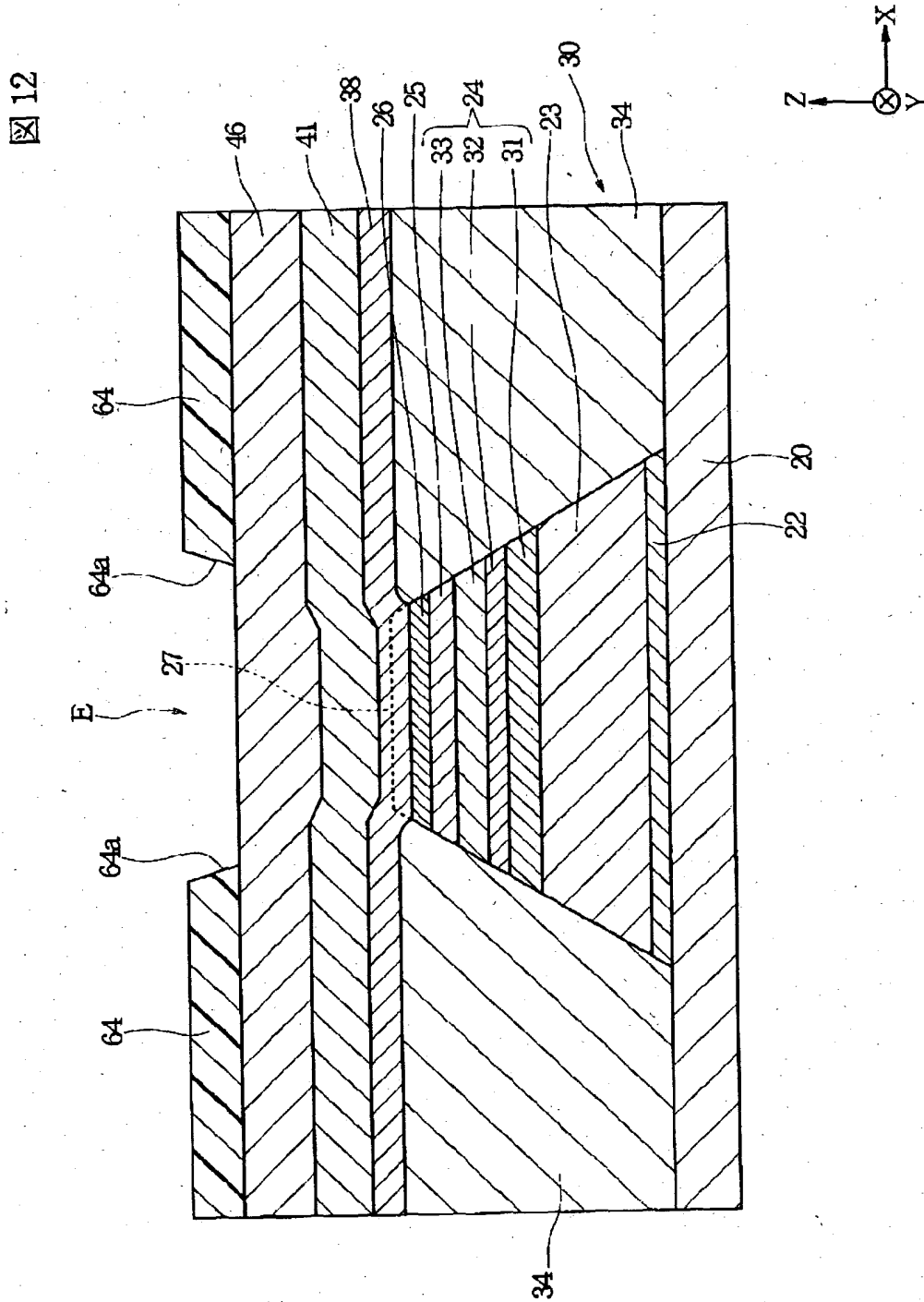


【图 1 1】

图 11

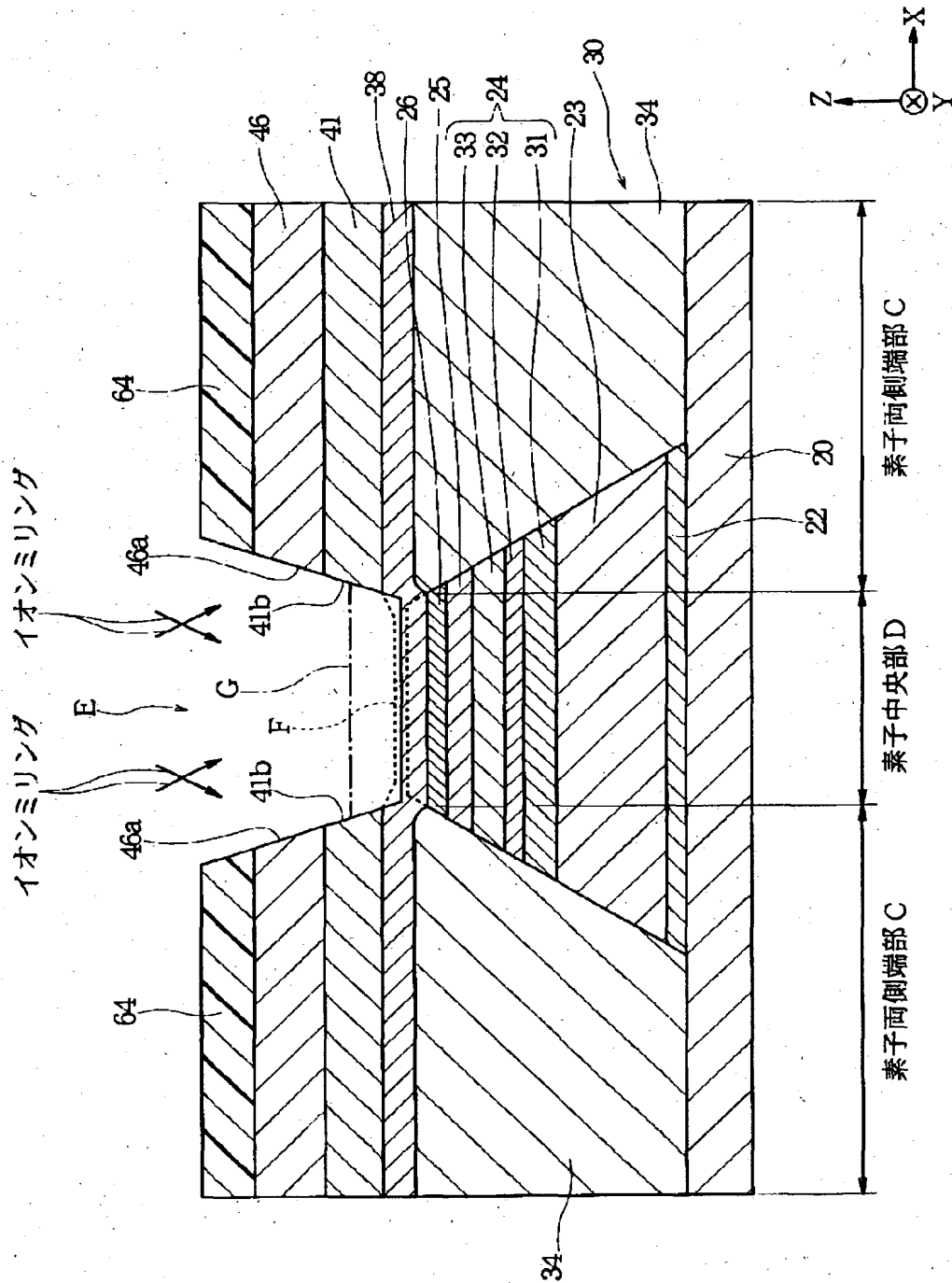


【図 12】



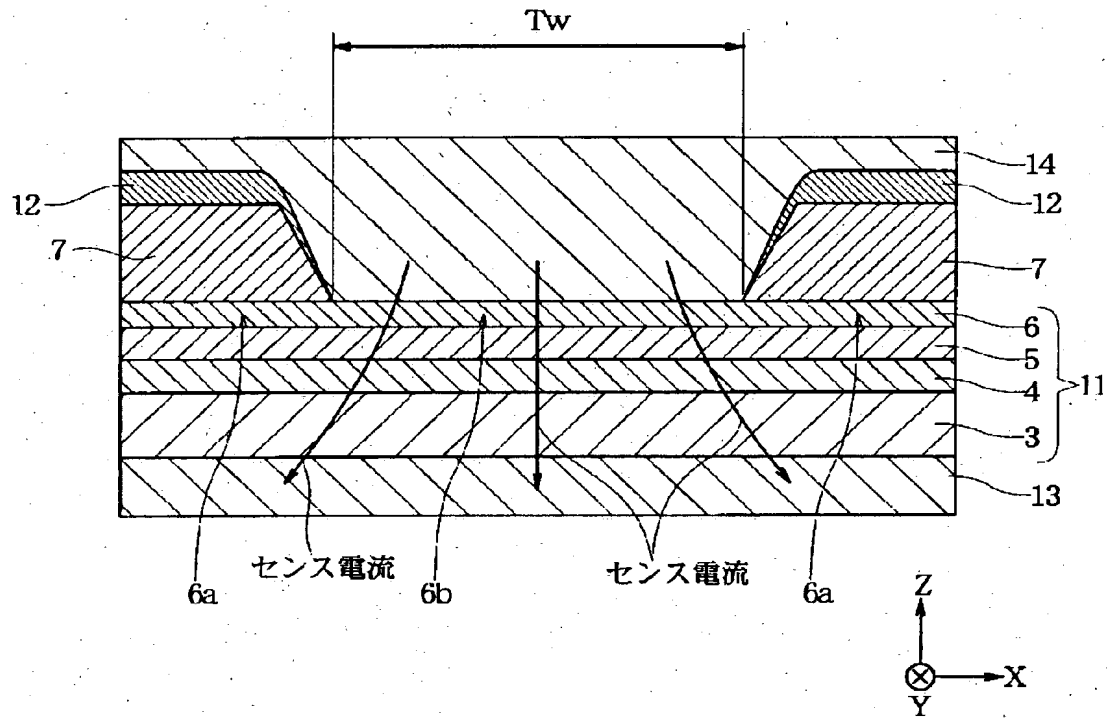
【図13】

図13



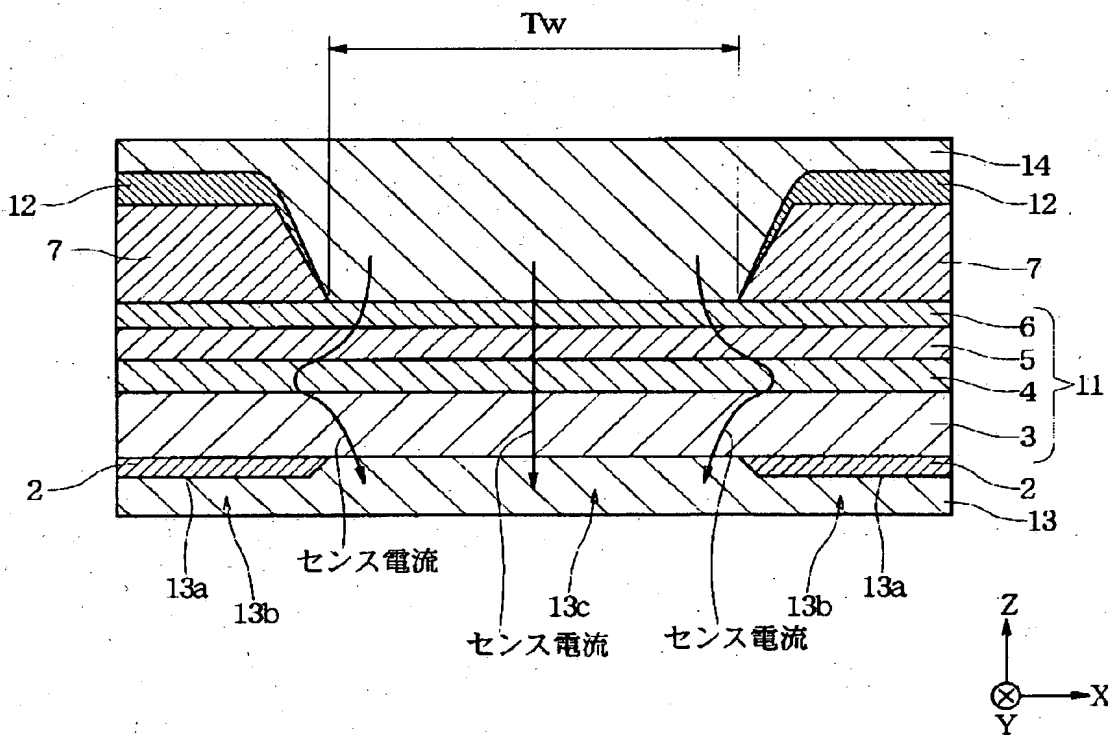
【図 14】

図 14



【図 15】

図 15



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 エクスチェンジバイアス方式のＣＰＰ型磁気検出素子において、前記フリー磁性層の磁化制御を適切に保ちつつ、従来よりセンス電流の前記多層膜内でのトラック幅方向への広がりを抑制でき、効果的にサイドリーディングの発生を抑制し、さらに再生出力の向上を図ることが可能な磁気検出素子及びその製造方法を提供。

【解決手段】 多層膜 3 0 のトラック幅方向の両側に第 1 絶縁層 3 4 を設け、多層膜 3 0 上から第 1 絶縁層 3 4 上にかけて第 2 フリー磁性層 3 8 を設け、さらに第 2 フリー磁性層の素子両側端部上に第 2 反強磁性層を設けたことで、センス電流は多層膜内をトラック幅よりもトラック幅方向に広がって流れにくくなり、フリー磁性層の磁化制御を適切に保ちつつ効果的に実効再生トラック幅の広がりを抑え、サイドリーディングの発生を抑制し再生出力の向上を図ることができる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000010098]

1. 変更年月日 1990年 8月27日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区雪谷大塚町1番7号

氏 名 アルプス電気株式会社